

Programmes de physique-chimie au collège et au lycée (pré et post-bac)

Compilés par L. LEVREL

14 avril 2017

Socle commun de connaissances, de compétences et de culture	3
Collège	9
Cycle 3 : sciences et technologie, thème 1	9
Cycle 4 : physique-chimie	13
Lycée, séries générales	26
Seconde : physique-chimie	26
Premières ES et L : sciences	36
Première S : physique-chimie	48
Terminale S : physique-chimie	59
Lycée, séries technologiques	74
Premières STI2D et STL : physique-chimie	74
Terminales STI2D et STL spé. SPCL : physique-chimie	82
Terminale STL spé. biotechnologies : physique-chimie	92
Première STL : sciences physiques et chimiques en laboratoire	102
Terminale STL : sciences physiques et chimiques en laboratoire	115
Première STL : mesure et instrumentation	145
Première STL : chimie, biochimie, sciences du vivant	148
Terminale STL : chimie, biochimie, sciences du vivant	159
Première ST2S	171
Terminale ST2S	177
Sections post-bac	182
BTS Techniques physiques pour l'industrie et le laboratoire	182
BTS Chimiste : physique	189
BTS Chimiste : chimie	212
CPGE 1 ^{re} année BCPST : physique-chimie	275
CPGE 1 ^{re} année MPSI : physique-chimie	331
CPGE 1 ^{re} année PCSI : physique	413
CPGE 1 ^{re} année PCSI : chimie	454
CPGE 1 ^{re} année TSI : physique-chimie	676
CPGE 1 ^{re} année TPC : physique	744
CPGE 1 ^{re} année TPC : chimie	778
CPGE 1 ^{re} année TB : physique-chimie	868
CPGE 2 ^e année TB : physique-chimie	894

Socle commun de connaissances, de compétences et de culture

Le socle commun de connaissances, de compétences et de culture couvre la période de la scolarité obligatoire, c'est-à-dire dix années fondamentales de la vie et de la formation des enfants, de six à seize ans. Il correspond pour l'essentiel aux enseignements de l'école élémentaire et du collège qui constituent une culture scolaire commune. Précédée pour la plupart des élèves par une scolarisation en maternelle qui a permis de poser de premières bases en matière d'apprentissage et de vivre ensemble, la scolarité obligatoire poursuit un double objectif de formation et de socialisation. Elle donne aux élèves une culture commune, fondée sur les connaissances et compétences indispensables, qui leur permettra de s'épanouir personnellement, de développer leur sociabilité, de réussir la suite de leur parcours de formation, de s'insérer dans la société où ils vivront et de participer, comme citoyens, à son évolution. Le socle commun doit devenir une référence centrale pour le travail des enseignants et des acteurs du système éducatif, en ce qu'il définit les finalités de la scolarité obligatoire et qu'il a pour exigence que l'École tienne sa promesse pour tous les élèves.

Le socle commun doit être équilibré dans ses contenus et ses démarches :

- il ouvre à la connaissance, forme le jugement et l'esprit critique, à partir d'éléments ordonnés de connaissance rationnelle du monde ;
- il fournit une éducation générale ouverte et commune à tous et fondée sur des valeurs qui permettent de vivre dans une société tolérante, de liberté ;
- il favorise un développement de la personne en interaction avec le monde qui l'entoure ;
- il développe les capacités de compréhension et de création, les capacités d'imagination et d'action ;
- il accompagne et favorise le développement physique, cognitif et sensible des élèves, en respectant leur intégrité ;
- il donne aux élèves les moyens de s'engager dans les activités scolaires, d'agir, d'échanger avec autrui, de conquérir leur autonomie et d'exercer ainsi progressivement leur liberté et leur statut de citoyen responsable.

L'élève engagé dans la scolarité apprend à réfléchir, à mobiliser des connaissances, à choisir des démarches et des procédures adaptées, pour penser, résoudre un problème, réaliser une tâche complexe ou un projet, en particulier dans une situation nouvelle ou inattendue. Les enseignants définissent les modalités les plus pertinentes pour parvenir à ces objectifs en suscitant l'intérêt des élèves, et centrent leurs activités ainsi que les pratiques des enfants et des adolescents sur de véritables enjeux intellectuels, riches de sens et de progrès.

Le socle commun identifie les connaissances et compétences qui doivent être acquises à l'issue de la scolarité obligatoire. Une compétence est l'aptitude à mobiliser ses ressources (connaissances, capacités, attitudes) pour accomplir une tâche ou faire face à une situation complexe ou inédite. Compétences et connaissances ne sont ainsi pas en opposition. Leur acquisition suppose de prendre en compte dans le processus d'apprentissage les vécus et les représentations des élèves, pour les mettre en perspective, enrichir et faire évoluer leur expérience du monde.

Par la loi d'orientation et de programmation pour la refondation de l'École de la République du 8 juillet 2013, la République s'engage afin de permettre à tous les élèves d'acquérir le socle commun de connaissances, de compétences et de culture, porteur de la culture commune. Il s'agit de contribuer au succès d'une école de la réussite pour tous, qui refuse exclusions et discriminations et qui permet à chacun de développer tout son potentiel par la meilleure éducation possible.

La logique du socle commun implique une acquisition progressive et continue des connaissances et des compétences par l'élève, comme le rappelle l'intitulé des cycles d'enseignement de la scolarité obligatoire que le socle commun oriente : cycle 2 des apprentissages fondamentaux, cycle 3 de consolidation, cycle 4 des approfondissements. Ainsi, la maîtrise des acquis du socle commun doit se concevoir dans le cadre du parcours scolaire de l'élève et en référence aux attendus et objectifs de formation présentés par les programmes de chaque cycle. La vérification de cette maîtrise progressive est faite tout au long du parcours scolaire et en particulier à la fin de chaque cycle. Cela contribue à un suivi des apprentissages de l'élève. Pour favoriser cette maîtrise, des stratégies d'accompagnement sont à mettre en œuvre dans le cadre de la classe, ou, le cas échéant, des groupes à effectifs réduits constitués à cet effet.

Domaine 1 : les langages pour penser et communiquer

Le domaine des langages pour penser et communiquer recouvre quatre types de langage, qui sont à la fois des objets de savoir et des outils : la langue française ; les langues vivantes étrangères ou régionales ; les langages mathématiques, scientifiques et informatiques ; les langages des arts et du corps. Ce domaine permet l'accès à

d'autres savoirs et à une culture rendant possible l'exercice de l'esprit critique ; il implique la maîtrise de codes, de règles, de systèmes de signes et de représentations. Il met en jeu des connaissances et des compétences qui sont sollicitées comme outils de pensée, de communication, d'expression et de travail et qui sont utilisées dans tous les champs du savoir et dans la plupart des activités.

Objectifs de connaissances et de compétences pour la maîtrise du socle commun

Comprendre, s'exprimer en utilisant la langue française à l'oral et à l'écrit

L'élève parle, communique, argumente à l'oral de façon claire et organisée ; il adapte son niveau de langue et son discours à la situation, il écoute et prend en compte ses interlocuteurs.

Il adapte sa lecture et la module en fonction de la nature et de la difficulté du texte. Pour construire ou vérifier le sens de ce qu'il lit, il combine avec pertinence et de façon critique les informations explicites et implicites issues de sa lecture. Il découvre le plaisir de lire.

L'élève s'exprime à l'écrit pour raconter, décrire, expliquer ou argumenter de façon claire et organisée. Lorsque c'est nécessaire, il reprend ses écrits pour rechercher la formulation qui convient le mieux et préciser ses intentions et sa pensée.

Il utilise à bon escient les principales règles grammaticales et orthographiques. Il emploie à l'écrit comme à l'oral un vocabulaire juste et précis.

Dans des situations variées, il recourt, de manière spontanée et avec efficacité, à la lecture comme à l'écriture.

Il apprend que la langue française a des origines diverses et qu'elle est toujours en évolution. Il est sensibilisé à son histoire et à ses origines latines et grecques.

Comprendre, s'exprimer en utilisant une langue étrangère et, le cas échéant, une langue régionale

L'élève pratique au moins deux langues vivantes étrangères ou, le cas échéant, une langue étrangère et une langue régionale.

Pour chacune de ces langues, il comprend des messages oraux et écrits, s'exprime et communique à l'oral et à l'écrit de manière simple mais efficace. Il s'engage volontiers dans le dialogue et prend part activement à des conversations. Il adapte son niveau de langue et son discours à la situation, il écoute et prend en compte ses interlocuteurs. Il maîtrise suffisamment le code de la langue pratiquée pour s'insérer dans une communication liée à la vie quotidienne : vocabulaire, prononciation, construction des phrases ; il possède aussi des connaissances sur le contexte culturel propre à cette langue (modes de vie, organisations sociales, traditions, expressions artistiques...).

Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques

L'élève utilise les principes du système de numération décimal et les langages formels (lettres, symboles...) propres aux mathématiques et aux disciplines scientifiques, notamment pour effectuer des calculs et modéliser des situations. Il lit des plans, se repère sur des cartes. Il produit et utilise des représentations d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels tels que schémas, croquis, maquettes, patrons ou figures géométriques. Il lit, interprète, commente, produit des tableaux, des graphiques et des diagrammes organisant des données de natures diverses. Il sait que des langages informatiques sont utilisés pour programmer des outils numériques et réaliser des traitements automatiques de données. Il connaît les principes de base de l'algorithmique et de la conception des programmes informatiques. Il les met en œuvre pour créer des applications simples.

Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages des arts et du corps

Sensibilisé aux démarches artistiques, l'élève apprend à s'exprimer et communiquer par les arts, de manière individuelle et collective, en concevant et réalisant des productions, visuelles, plastiques, sonores ou verbales notamment. Il connaît et comprend les particularités des différents langages artistiques qu'il emploie. Il justifie ses intentions et ses choix en s'appuyant sur des notions d'analyse d'œuvres.

Il s'exprime par des activités, physiques, sportives ou artistiques, impliquant le corps. Il apprend ainsi le contrôle et la maîtrise de soi.

Domaine 2 : les méthodes et outils pour apprendre

Ce domaine a pour objectif de permettre à tous les élèves d'apprendre à apprendre, seuls ou collectivement, en classe ou en dehors, afin de réussir dans leurs études et, par la suite, se former tout au long de la vie. Les méthodes et outils pour apprendre doivent faire l'objet d'un apprentissage explicite en situation, dans tous les enseignements et espaces de la vie scolaire.

En classe, l'élève est amené à résoudre un problème, comprendre un document, rédiger un texte, prendre des notes, effectuer une prestation ou produire des objets. Il doit savoir apprendre une leçon, rédiger un devoir, préparer un exposé, prendre la parole, travailler à un projet, s'entraîner en choisissant les démarches adaptées aux objectifs d'apprentissage préalablement explicités. Ces compétences requièrent l'usage de tous les outils théoriques et pratiques à sa disposition, la fréquentation des bibliothèques et centres de documentation, la capacité à utiliser de manière pertinente les technologies numériques pour faire des recherches, accéder à l'information, la hiérarchiser et produire soi-même des contenus.

La maîtrise des méthodes et outils pour apprendre développe l'autonomie et les capacités d'initiative ; elle favorise l'implication dans le travail commun, l'entraide et la coopération.

Objectifs de connaissances et de compétences pour la maîtrise du socle commun

Organisation du travail personnel

L'élève se projette dans le temps, anticipe, planifie ses tâches. Il gère les étapes d'une production, écrite ou non, mémorise ce qui doit l'être.

Il comprend le sens des consignes ; il sait qu'un même mot peut avoir des sens différents selon les disciplines. Pour acquérir des connaissances et des compétences, il met en œuvre les capacités essentielles que sont l'attention, la mémorisation, la mobilisation de ressources, la concentration, l'aptitude à l'échange et au questionnement, le respect des consignes, la gestion de l'effort.

Il sait identifier un problème, s'engager dans une démarche de résolution, mobiliser les connaissances nécessaires, analyser et exploiter les erreurs, mettre à l'essai plusieurs solutions, accorder une importance particulière aux corrections.

L'élève sait se constituer des outils personnels grâce à des écrits de travail, y compris numériques : notamment prise de notes, brouillons, fiches, lexiques, nomenclatures, cartes mentales, plans, croquis, dont il peut se servir pour s'entraîner, réviser, mémoriser.

Coopération et réalisation de projets

L'élève travaille en équipe, partage des tâches, s'engage dans un dialogue constructif, accepte la contradiction tout en défendant son point de vue, fait preuve de diplomatie, négocie et recherche un consensus.

Il apprend à gérer un projet, qu'il soit individuel ou collectif. Il en planifie les tâches, en fixe les étapes et évalue l'atteinte des objectifs.

L'élève sait que la classe, l'école, l'établissement sont des lieux de collaboration, d'entraide et de mutualisation des savoirs. Il aide celui qui ne sait pas comme il apprend des autres. L'utilisation des outils numériques contribue à ces modalités d'organisation, d'échange et de collaboration.

Médias, démarches de recherche et de traitement de l'information

L'élève connaît des éléments d'histoire de l'écrit et de ses différents supports. Il comprend les modes de production et le rôle de l'image.

Il sait utiliser de façon réfléchie des outils de recherche, notamment sur Internet. Il apprend à confronter différentes sources et à évaluer la validité des contenus. Il sait traiter les informations collectées, les organiser, les mémoriser sous des formats appropriés et les mettre en forme. Il les met en relation pour construire ses connaissances.

L'élève apprend à utiliser avec discernement les outils numériques de communication et d'information qu'il côtoie au quotidien, en respectant les règles sociales de leur usage et toutes leurs potentialités pour apprendre et travailler. Il accède à un usage sûr, légal et éthique pour produire, recevoir et diffuser de l'information. Il développe une culture numérique.

Il identifie les différents médias (presse écrite, audiovisuelle et Web) et en connaît la nature. Il en comprend les enjeux et le fonctionnement général afin d'acquérir une distance critique et une autonomie suffisantes dans leur usage.

Outils numériques pour échanger et communiquer

L'élève sait mobiliser différents outils numériques pour créer des documents intégrant divers médias et les publier ou les transmettre, afin qu'ils soient consultables et utilisables par d'autres. Il sait réutiliser des productions collaboratives pour enrichir ses propres réalisations, dans le respect des règles du droit d'auteur.

L'élève utilise les espaces collaboratifs et apprend à communiquer notamment par le biais des réseaux sociaux dans le respect de soi et des autres. Il comprend la différence entre sphères publique et privée. Il sait ce qu'est une identité numérique et est attentif aux traces qu'il laisse.

Domaine 3 : la formation de la personne et du citoyen

L'École a une responsabilité particulière dans la formation de l'élève en tant que personne et futur citoyen. Dans une démarche de coéducation, elle ne se substitue pas aux familles, mais elle a pour tâche de transmettre aux jeunes les valeurs fondamentales et les principes inscrits dans la Constitution de notre pays. Elle permet à l'élève d'acquérir la capacité à juger par lui-même, en même temps que le sentiment d'appartenance à la société. Ce faisant, elle permet à l'élève de développer dans les situations concrètes de la vie scolaire son aptitude à vivre de manière autonome, à participer activement à l'amélioration de la vie commune et à préparer son engagement en tant que citoyen.

Ce domaine fait appel :

- à l'apprentissage et à l'expérience des principes qui garantissent la liberté de tous, comme la liberté de conscience et d'expression, la tolérance réciproque, l'égalité, notamment entre les hommes et les femmes, le refus des discriminations, l'affirmation de la capacité à juger et agir par soi-même ;
- à des connaissances et à la compréhension du sens du droit et de la loi, des règles qui permettent la participation à la vie collective et démocratique et de la notion d'intérêt général ;
- à la connaissance, la compréhension mais aussi la mise en pratique du principe de laïcité, qui permet le déploiement du civisme et l'implication de chacun dans la vie sociale, dans le respect de la liberté de conscience. Ce domaine est mis en œuvre dans toutes les situations concrètes de la vie scolaire où connaissances et valeurs trouvent, en s'exerçant, les conditions d'un apprentissage permanent, qui procède par l'exemple, par l'appel à la sensibilité et à la conscience, par la mobilisation du vécu et par l'engagement de chacun.

Objectifs de connaissances et de compétences pour la maîtrise du socle commun

Expression de la sensibilité et des opinions, respect des autres

L'élève exprime ses sentiments et ses émotions en utilisant un vocabulaire précis.

Il exploite ses facultés intellectuelles et physiques en ayant confiance en sa capacité à réussir et à progresser.

L'élève apprend à résoudre les conflits sans agressivité, à éviter le recours à la violence grâce à sa maîtrise de moyens d'expression, de communication et d'argumentation. Il respecte les opinions et la liberté d'autrui, identifie et rejette toute forme d'intimidation ou d'emprise. Apprenant à mettre à distance préjugés et stéréotypes, il est capable d'apprécier les personnes qui sont différentes de lui et de vivre avec elles. Il est capable aussi de faire preuve d'empathie et de bienveillance.

La règle et le droit

L'élève comprend et respecte les règles communes, notamment les règles de civilité, au sein de la classe, de l'école ou de l'établissement, qui autorisent et contraignent à la fois et qui engagent l'ensemble de la communauté éducative. Il participe à la définition de ces règles dans le cadre adéquat. Il connaît le rôle éducatif et la gradation des sanctions ainsi que les grands principes et institutions de la justice.

Il comprend comment, dans une société démocratique, des valeurs communes garantissent les libertés individuelles et collectives, trouvent force d'application dans des règles et dans le système du droit, que les citoyens peuvent faire évoluer selon des procédures organisées.

Il connaît les grandes déclarations des droits de l'homme (notamment la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789, la Déclaration universelle des droits de l'homme de 1948), la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme, la Convention internationale des droits de l'enfant de 1989 et les principes fondateurs de la République française. Il connaît le sens du principe de laïcité ; il en mesure la profondeur historique et l'importance pour la démocratie dans notre pays. Il comprend que la laïcité garantit la liberté de conscience, fondée sur l'autonomie du jugement de chacun et institue des règles permettant de vivre ensemble pacifiquement.

Il connaît les principales règles du fonctionnement institutionnel de l'Union européenne et les grands objectifs du projet européen.

Réflexion et discernement

L'élève est attentif à la portée de ses paroles et à la responsabilité de ses actes.

Il fonde et défend ses jugements en s'appuyant sur sa réflexion et sur sa maîtrise de l'argumentation. Il comprend les choix moraux que chacun fait dans sa vie ; il peut discuter de ces choix ainsi que de quelques grands problèmes éthiques liés notamment aux évolutions sociales, scientifiques ou techniques.

L'élève vérifie la validité d'une information et distingue ce qui est objectif et ce qui est subjectif. Il apprend à justifier ses choix et à confronter ses propres jugements avec ceux des autres. Il sait remettre en cause ses jugements initiaux après un débat argumenté, il distingue son intérêt particulier de l'intérêt général. Il met en application et respecte les grands principes républicains.

Responsabilité, sens de l'engagement et de l'initiative

L'élève coopère et fait preuve de responsabilité vis-à-vis d'autrui. Il respecte les engagements pris envers lui-même et envers les autres, il comprend l'importance du respect des contrats dans la vie civile. Il comprend en outre l'importance de s'impliquer dans la vie scolaire (actions et projets collectifs, instances), d'avoir recours aux outils de la démocratie (ordre du jour, compte rendu, votes notamment) et de s'engager aux côtés des autres dans les différents aspects de la vie collective et de l'environnement.

L'élève sait prendre des initiatives, entreprendre et mettre en œuvre des projets, après avoir évalué les conséquences de son action ; il prépare ainsi son orientation future et sa vie d'adulte.

Domaine 4 : les systèmes naturels et les systèmes techniques

Ce domaine a pour objectif de donner à l'élève les fondements de la culture mathématique, scientifique et technologique nécessaire à une découverte de la nature et de ses phénomènes, ainsi que des techniques développées par les femmes et les hommes. Il s'agit d'éveiller sa curiosité, son envie de se poser des questions,

de chercher des réponses et d'inventer, tout en l'initiant à de grands défis auxquels l'humanité est confrontée. L'élève découvre alors, par une approche scientifique, la nature environnante. L'objectif est bien de poser les bases lui permettant de pratiquer des démarches scientifiques et techniques.

Fondées sur l'observation, la manipulation et l'expérimentation, utilisant notamment le langage des mathématiques pour leurs représentations, les démarches scientifiques ont notamment pour objectif d'expliquer l'Univers, d'en comprendre les évolutions, selon une approche rationnelle privilégiant les faits et hypothèses vérifiables, en distinguant ce qui est du domaine des opinions et croyances. Elles développent chez l'élève la rigueur intellectuelle, l'habileté manuelle et l'esprit critique, l'aptitude à démontrer, à argumenter.

La familiarisation de l'élève avec le monde technique passe par la connaissance du fonctionnement d'un certain nombre d'objets et de systèmes et par sa capacité à en concevoir et en réaliser lui-même. Ce sont des occasions de prendre conscience que la démarche technologique consiste à rechercher l'efficacité dans un milieu contraint (en particulier par les ressources) pour répondre à des besoins humains, en tenant compte des impacts sociaux et environnementaux.

En s'initiant à ces démarches, concepts et outils, l'élève se familiarise avec les évolutions de la science et de la technologie ainsi que leur histoire, qui modifient en permanence nos visions et nos usages de la planète.

L'élève comprend que les mathématiques permettent de développer une représentation scientifique des phénomènes, qu'elles offrent des outils de modélisation, qu'elles se nourrissent des questions posées par les autres domaines de connaissance et les nourrissent en retour.

Objectifs de connaissances et de compétences pour la maîtrise du socle commun

Démarches scientifiques

L'élève sait mener une démarche d'investigation. Pour cela, il décrit et questionne ses observations ; il prélève, organise et traite l'information utile ; il formule des hypothèses, les teste et les éprouve ; il manipule, explore plusieurs pistes, procède par essais et erreurs ; il modélise pour représenter une situation ; il analyse, argumente, mène différents types de raisonnements (par analogie, déduction logique...) ; il rend compte de sa démarche. Il exploite et communique les résultats de mesures ou de recherches en utilisant les langages scientifiques à bon escient.

L'élève pratique le calcul, mental et écrit, exact et approché, il estime et contrôle les résultats, notamment en utilisant les ordres de grandeur. Il résout des problèmes impliquant des grandeurs variées (géométriques, physiques, économiques...), en particulier des situations de proportionnalité. Il interprète des résultats statistiques et les représente graphiquement.

Conception, création, réalisation

L'élève imagine, conçoit et fabrique des objets et des systèmes techniques. Il met en œuvre observation, imagination, créativité, sens de l'esthétique et de la qualité, talent et habileté manuels, sens pratique, et sollicite les savoirs et compétences scientifiques, technologiques et artistiques pertinents.

Responsabilités individuelles et collectives

L'élève connaît l'importance d'un comportement responsable vis-à-vis de l'environnement et de la santé et comprend ses responsabilités individuelle et collective. Il prend conscience de l'impact de l'activité humaine sur l'environnement, de ses conséquences sanitaires et de la nécessité de préserver les ressources naturelles et la diversité des espèces. Il prend conscience de la nécessité d'un développement plus juste et plus attentif à ce qui est laissé aux générations futures.

Il sait que la santé repose notamment sur des fonctions biologiques coordonnées, susceptibles d'être perturbées par des facteurs physiques, chimiques, biologiques et sociaux de l'environnement et que certains de ces facteurs de risques dépendent de conduites sociales et de choix personnels. Il est conscient des enjeux de bien-être et de santé des pratiques alimentaires et physiques. Il observe les règles élémentaires de sécurité liées aux techniques et produits rencontrés dans la vie quotidienne.

Pour atteindre les objectifs de connaissances et de compétences de ce domaine, l'élève mobilise des connaissances sur :

- les principales fonctions du corps humain, les caractéristiques et l'unité du monde vivant, l'évolution et la diversité des espèces ;
- la structure de l'Univers et de la matière; les grands caractères de la biosphère et leurs transformations ;
- l'énergie et ses multiples formes, le mouvement et les forces qui le régissent ;
- les nombres et les grandeurs, les objets géométriques, la gestion de données, les phénomènes aléatoires ;
- les grandes caractéristiques des objets et systèmes techniques et des principales solutions technologiques.

Domaine 5 : les représentations du monde et l'activité humaine

Ce domaine est consacré à la compréhension du monde que les êtres humains tout à la fois habitent et façonnent. Il s'agit de développer une conscience de l'espace géographique et du temps historique. Ce domaine conduit aussi à étudier les caractéristiques des organisations et des fonctionnements des sociétés. Il initie à la diversité des

expériences humaines et des formes qu'elles prennent : les découvertes scientifiques et techniques, les diverses cultures, les systèmes de pensée et de conviction, l'art et les œuvres, les représentations par lesquelles les femmes et les hommes tentent de comprendre la condition humaine et le monde dans lequel ils vivent.

Ce domaine vise également à développer des capacités d'imagination, de conception, d'action pour produire des objets, des services et des œuvres ainsi que le goût des pratiques artistiques, physiques et sportives. Il permet en outre la formation du jugement et de la sensibilité esthétiques. Il implique enfin une réflexion sur soi et sur les autres, une ouverture à l'altérité, et contribue à la construction de la citoyenneté, en permettant à l'élève d'aborder de façon éclairée de grands débats du monde contemporain.

Objectifs de connaissances et de compétences pour la maîtrise du socle commun

L'espace et le temps

L'élève identifie ainsi les grandes questions et les principaux enjeux du développement humain, il est capable d'appréhender les causes et les conséquences des inégalités, les sources de conflits et les solidarités, ou encore les problématiques mondiales concernant l'environnement, les ressources, les échanges, l'énergie, la démographie et le climat. Il comprend également que les lectures du passé éclairent le présent et permettent de l'interpréter.

L'élève se repère dans l'espace à différentes échelles, il comprend les grands espaces physiques et humains et les principales caractéristiques géographiques de la Terre, du continent européen et du territoire national : organisation et localisations, ensembles régionaux, outre-mer. Il sait situer un lieu ou un ensemble géographique en utilisant des cartes, en les comparant et en produisant lui-même des représentations graphiques.

Organisations et représentations du monde

L'élève lit des paysages, identifiant ce qu'ils révèlent des atouts et des contraintes du milieu ainsi que de l'activité humaine, passée et présente. Il établit des liens entre l'espace et l'organisation des sociétés.

Il exprime à l'écrit et à l'oral ce qu'il ressent face à une œuvre littéraire ou artistique ; il étaye ses analyses et les jugements qu'il porte sur l'œuvre ; il formule des hypothèses sur ses significations et en propose une interprétation en s'appuyant notamment sur ses aspects formels et esthétiques. Il justifie ses intentions et ses choix expressifs, en s'appuyant sur quelques notions d'analyse des œuvres. Il s'approprie, de façon directe ou indirecte, notamment dans le cadre de sorties scolaires culturelles, des œuvres littéraires et artistiques appartenant au patrimoine national et mondial comme à la création contemporaine.

Invention, élaboration, production

L'élève imagine, conçoit et réalise des productions de natures diverses, y compris littéraires et artistiques. Pour cela, il met en œuvre des principes de conception et de fabrication d'objets ou les démarches et les techniques de création. Il tient compte des contraintes des matériaux et des processus de production en respectant l'environnement. Il mobilise son imagination et sa créativité au service d'un projet personnel ou collectif. Il développe son jugement, son goût, sa sensibilité, ses émotions esthétiques.

Il connaît les contraintes et les libertés qui s'exercent dans le cadre des activités physiques et sportives ou artistiques personnelles et collectives. Il sait en tirer parti et gère son activité physique et sa production ou sa performance artistiques pour les améliorer, progresser et se perfectionner. Il cherche et utilise des techniques pertinentes, il construit des stratégies pour réaliser une performance sportive. Dans le cadre d'activités et de projets collectifs, il prend sa place dans le groupe en étant attentif aux autres pour coopérer ou s'affronter dans un cadre réglementé.

Pour mieux connaître le monde qui l'entoure comme pour se préparer à l'exercice futur de sa citoyenneté démocratique, l'élève pose des questions et cherche des réponses en mobilisant des connaissances sur :

- les principales périodes de l'histoire de l'humanité, situées dans leur chronologie, les grandes ruptures et les événements fondateurs, la notion de civilisation ;
- les principaux modes d'organisation des espaces humanisés ;
- la diversité des modes de vie et des cultures, en lien avec l'apprentissage des langues ;
- les éléments clés de l'histoire des idées, des faits religieux et des convictions ;
- les grandes découvertes scientifiques et techniques et les évolutions qu'elles ont engendrées, tant dans les modes de vie que dans les représentations ;
- les expressions artistiques, les œuvres, les sensibilités esthétiques et les pratiques culturelles de différentes sociétés ;
- les principaux modes d'organisation politique et sociale, idéaux et principes républicains et démocratiques, leur histoire et leur actualité ;
- les principales manières de concevoir la production économique, sa répartition, les échanges qu'elles impliquent ;
- les règles et le droit de l'économie sociale et familiale, du travail, de la santé et de la protection sociale.

Toutes les disciplines scientifiques et la technologie concourent à la construction d'une première représentation globale, rationnelle et cohérente du monde dans lequel l'élève vit. Le programme d'enseignement du cycle 3 y contribue en s'organisant autour de thématiques communes qui conjuguent des questions majeures de la science et des enjeux sociétaux contemporains.

Le découpage en quatre thèmes principaux s'organise autour de : (1) Matière, mouvement, énergie, information - (2) Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent - (3) Matériaux et objets techniques - (4) La planète Terre. Les êtres vivants dans leur environnement. Chacun de ces thèmes permet de construire des concepts ou notions qui trouvent leur application dans l'éducation au développement durable. Le concept d'énergie, progressivement construit, est présent dans chaque thème et les relie.

La construction des concepts scientifiques s'appuie sur une démarche, qui exige des observations, des expériences, des mesures, etc. ; la formulation d'hypothèses et leur mise à l'épreuve par des expériences, des essais ou des observations ; la construction progressive de modèles simples, permettant d'interpréter celles-ci ; la capacité enfin d'expliquer une diversité de phénomènes, et de les prévoir. La réalisation de mesures et l'utilisation de certains modèles font appel aux mathématiques et en retour leur donnent des objets de contextualisation. Les exemples utilisés sont le plus souvent issus de l'environnement des élèves, devenant ainsi source de sens pour lui.

Par l'analyse et par la conception, les élèves peuvent décrire les interactions entre les objets techniques et leur environnement et les processus mis en œuvre. Les élèves peuvent aussi réaliser des maquettes, des prototypes, comprendre l'évolution technologique des objets et utiliser les outils numériques.

Grâce à ces activités, les capacités tant manuelles et pratiques qu'intellectuelles des élèves sont mobilisées, ainsi que l'usage de la langue française et de langages scientifiques différents : ils produisent des textes et des schémas, ils s'expriment à l'oral, notamment pour présenter leurs pistes de recherche, leurs découvertes, leurs raisonnements.

Matière, mouvement, énergie, information

Attendus de fin de cycle

- » Décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique.
- » Observer et décrire différents types de mouvements.
- » Identifier différentes sources d'énergie.
- » Identifier un signal et une information.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique	
<p>Mettre en œuvre des observations et des expériences pour caractériser un échantillon de matière.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Diversité de la matière : métaux, minéraux, verres, plastiques, matière organique sous différentes formes... » L'état physique d'un échantillon de matière dépend de conditions externes, notamment de sa température. » Quelques propriétés de la matière solide ou liquide (par exemple : densité, solubilité, élasticité...). » La matière à grande échelle : Terre, planètes, Univers. » La masse est une grandeur physique qui caractérise un échantillon de matière. <p>Identifier à partir de ressources documentaires les différents constituants d'un mélange.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole de séparation de constituants d'un mélange.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Réaliser des mélanges peut provoquer des transformations de la matière (dissolution, réaction). » La matière qui nous entoure (à l'état solide, liquide ou gazeux), résultat d'un mélange de différents constituants. 	<p>Observer la diversité de la matière, à différentes échelles, dans la nature et dans la vie courante (matière inerte –naturelle ou fabriquée-, matière vivante).</p> <p>La distinction entre différents matériaux peut se faire à partir de leurs propriétés physiques (par exemple : densité, conductivité thermique ou électrique, magnétisme, solubilité dans l'eau, miscibilité avec l'eau...) ou de leurs caractéristiques (matériaux bruts, conditions de mise en forme, procédés...).</p> <p>L'utilisation de la loupe et du microscope permet : l'observation de structures géométriques de cristaux naturels et de cellules.</p> <p>Des activités de séparation de constituants peuvent être conduites : décantation, filtration, évaporation.</p> <p>Observation qualitative d'effets à distances (aimants, électricité statique).</p> <p>Richesse et diversité des usages possibles de la matière: se déplacer, se nourrir, construire, se vêtir, faire une œuvre d'art.</p> <p>Le domaine du tri et du recyclage des matériaux est un support d'activité à privilégier.</p> <p>Les mélanges gazeux pourront être abordés à partir du cas de l'air.</p> <p>L'eau et les solutions aqueuses courantes (eau minérale, eau du robinet, boissons, mélanges issus de dissolution d'espèces solides ou gazeuses dans l'eau...) représentent un champ d'expérimentation très riche. Détachants, dissolvants, produits domestiques permettent d'aborder d'autres mélanges et d'introduire la notion de mélange de constituants pouvant conduire à une réaction (transformation chimique).</p> <p>Informé l'élève du danger de mélanger des produits domestiques sans s'informer.</p>

Observer et décrire différents types de mouvements

Décrire un mouvement et identifier les différences entre mouvements circulaire ou rectiligne.

- » Mouvement d'un objet (trajectoire et vitesse : unités et ordres de grandeur).
- » Exemples de mouvements simples : rectiligne, circulaire.

Élaborer et mettre en œuvre un protocole pour appréhender la notion de mouvement et de mesure de la valeur de la vitesse d'un objet.

- » Mouvements dont la valeur de la vitesse (module) est constante ou variable (accélération, décélération) dans un mouvement rectiligne.

L'élève part d'une situation où il est acteur qui observe (en courant, faisant du vélo, passager d'un train ou d'un avion), à celles où il n'est qu'observateur (des observations faites dans la cour de récréation ou lors d'une expérimentation en classe, jusqu'à l'observation du ciel : mouvement des planètes et des satellites artificiels à partir de données fournies par des logiciels de simulation).

Identifier différentes sources et connaître quelques conversions d'énergie

Identifier des sources d'énergie et des formes.

- » L'énergie existe sous différentes formes (énergie associée à un objet en mouvement, énergie thermique, électrique...).

Prendre conscience que l'être humain a besoin d'énergie pour vivre, se chauffer, se déplacer, s'éclairer...

Reconnaître les situations où l'énergie est stockée, transformée, utilisée. La fabrication et le fonctionnement d'un objet technique nécessitent de l'énergie.

- » Exemples de sources d'énergie utilisées par les êtres humains : charbon, pétrole, bois, uranium, aliments, vent, Soleil, eau et barrage, pile...
- » Notion d'énergie renouvelable.
- » Identifier quelques éléments d'une chaîne d'énergie domestique simple.
- » Quelques dispositifs visant à économiser la consommation d'énergie.

L'énergie associée à un objet en mouvement apparaît comme une forme d'énergie facile à percevoir par l'élève, et comme pouvant se convertir en énergie thermique.

Le professeur peut privilégier la mise en œuvre de dispositifs expérimentaux analysés sous leurs aspects énergétiques : éolienne, circuit électrique simple, dispositif de freinage, moulin à eau, objet technique...

On prend appui sur des exemples simples (vélo qui freine, objets du quotidien, l'être humain en introduisant les formes d'énergie mobilisées et les différentes consommations (par exemple : énergie thermique, énergie associée au mouvement d'un objet, énergie électrique, énergie associée à une réaction chimique, énergie lumineuse...)).

Exemples de consommation domestique (chauffage, lumière, ordinateur, transports).

Identifier un signal et une information

<p>Identifier différentes formes de signaux (sonores, lumineux, radio...).</p> <p>» Nature d'un signal, nature d'une information, dans une application simple de la vie courante.</p>	<p>Introduire de façon simple la notion de signal et d'information en utilisant des situations de la vie courante : feux de circulation, voyant de charge d'un appareil, alarme sonore, téléphone...</p> <p>Élément minimum d'information (oui/non) et représentation par 0, 1.</p>
---	---

Repères de progressivité

- » L'observation macroscopique de la matière sous une grande variété de formes et d'états, leur caractérisation et leurs usages relèvent des classes de CM1 et CM2. Des exemples de mélanges solides (alliages, minéraux...), liquides (eau naturelle, boissons...) ou gazeux (air) seront présentés en CM1-CM2. Des expériences simples sur les propriétés de la matière seront réalisées avec des réponses principalement « binaires » (soluble ou pas, conducteur ou pas...), la classe de sixième permet d'approfondir : saturation d'une solution en sel, matériaux plus conducteurs que d'autres. On insistera en particulier sur la notion de mélange de constituants pouvant conduire à une transformation chimique. La classe de 6^e sera l'occasion de mettre en œuvre des expériences de séparation ou de caractérisation engageant un matériel plus spécifique d'un travail en laboratoire. La structure atomique ou moléculaire sera traitée en cycle 4.
- » L'observation et la caractérisation de mouvements variés permettent d'introduire la vitesse et ses unités, d'aborder le rôle de la position de l'observateur (CM1-CM2) ; l'étude des mouvements à valeur de vitesse variable sera poursuivie en 6^e. En fin de cycle, l'énergie (ici associée à un objet en mouvement) peut qualitativement être reliée à la masse et à la vitesse de l'objet ; un échange d'énergie est constaté lors d'une augmentation ou diminution de la valeur de la vitesse, le concept de force et d'inertie sont réservés au cycle 4.
- » Les besoins en énergie de l'homme, la nécessité d'une source d'énergie pour le fonctionnement d'un objet technique et les différentes sources d'énergie sont abordés en CM1-CM2. Des premières transformations d'énergie peuvent aussi être présentées en CM1-CM2 ; les objets techniques en charge de convertir les formes d'énergie sont identifiés et qualifiés d'un point de vue fonctionnel.
- » En CM1 et CM2 l'observation de communications entre élèves, puis de systèmes techniques simples permettra de progressivement distinguer la notion de signal, comme grandeur physique, transportant une certaine quantité d'information, dont on définira (cycle 4 et ensuite) la nature et la mesure.
- » La notion de signal analogique est réservée au cycle 4. On se limitera aux signaux logiques transmettant une information qui ne peut avoir que deux valeurs, niveau haut ou niveau bas. En classe de 6^e, l'algorithme en lecture introduit la notion de test d'une information (vrai ou faux) et l'exécution d'actions différentes selon le résultat du test.

CYCLE 4

Physique-Chimie

Les sciences expérimentales et d'observation, dont font partie la physique et la chimie, explorent la nature pour en découvrir et expliciter les lois, acquérant ainsi du pouvoir sur le monde réel. Les finalités de leur enseignement au cours du cycle 4 sont de permettre à l'élève :

- » d'accéder à des savoirs scientifiques enracinés dans l'histoire et actualisés, de les comprendre et les utiliser pour formuler des raisonnements adéquats ;
- » de saisir par une pratique concrète la complexité du réel en observant, en expérimentant, en mesurant, en modélisant ;
- » de construire, à partir des faits, des idées sur le monde qui deviennent progressivement plus abstraites et puissantes ;
- » d'appréhender la place des techniques et des sciences de l'ingénieur, leur émergence, leurs interactions avec les sciences ;
- » de percevoir les liens entre l'être humain et la nature ;
- » d'expliquer les impacts engendrés par le rythme et la diversité des actions de l'être humain sur la nature ;
- » d'agir en exerçant des choix éclairés, y compris dans ses choix d'orientation ;
- » de vivre et préparer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement :
 - en construisant sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ;
 - en intégrant les évolutions économiques et technologiques, pour assumer en citoyen les responsabilités sociales et éthiques qui en découlent.

Au cours du cycle 4, l'étude des sciences – physique, chimie, sciences de la vie et de la Terre – permet aux jeunes de se distancier d'une vision anthropocentrée du monde et de leurs croyances, pour entrer dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels, le monde vivant, et les techniques. Cette posture scientifique est faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, remise en question de son idée, exploitation positive des erreurs...) et de capacités (observer, expérimenter, mesurer, raisonner, modéliser, ...). Ainsi, l'élève comprend que les connaissances qu'il acquiert, mémorise et qui lui sont déjà utiles devront nécessairement être approfondies, révisées et peut-être remises en cause tant dans la suite de sa scolarité que tout au long de sa vie.

Les objectifs de formation du cycle 4 en physique et chimie s'organisent autour de quatre thèmes :

- » Organisation et transformations de la matière
- » Mouvements et interactions
- » L'énergie et ses conversions
- » Des signaux pour observer et communiquer

Ces thèmes forment l'ossature d'une lecture scientifique du monde naturel, ils participent de la culture scientifique et technique, ils permettent d'appréhender la grande variété et l'évolution des métiers et des formations ainsi que les enjeux économiques en relation avec les sciences, notamment la physique et la chimie. La diversité des talents et des intelligences des élèves est mise en valeur dans le choix des activités, de la place donnée au concret ainsi qu'à l'abstrait. Ainsi est facilitée une orientation raisonnée des élèves au sein du parcours Avenir ou du parcours d'éducation artistique et culturelle.

La connaissance et la pratique de ces thèmes aident à construire l'autonomie du futur citoyen par le développement de son jugement critique, et lui inculquent les valeurs, essentielles en sciences, de respect des faits, de responsabilité et de coopération.

Ces quatre thèmes ont vocation à être traités tout au long du cycle 4. Ils sont interdépendants et font l'objet d'approches croisées, complémentaires et fréquentes, reprenant et approfondissant les notions tout au long du cycle. Il est possible d'atteindre les attendus de fin de cycle par différentes programmations sur les trois années du cycle, en partant d'observations d'objets ou de phénomènes pour aller vers des modèles plus élaborés, en prenant en compte la progressivité dans la présentation des notions abordées dans d'autres disciplines, notamment les mathématiques, les sciences de la vie et de la Terre et la technologie.

Compétences travaillées

Pratiquer des démarches scientifiques

- » Identifier des questions de nature scientifique.
- » Proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question scientifique.
Concevoir une expérience pour la ou les tester.
- » Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte.
- » Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions et les communiquer en argumentant.
- » Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.

Domaine du socle : 4

Concevoir, créer, réaliser

- » Concevoir et réaliser un dispositif de mesure ou d'observation.

Domaine du socle : 4, 5

S'approprier des outils et des méthodes

- » Effectuer des recherches bibliographiques.
- » Utiliser des outils numériques pour mutualiser des informations sur un sujet scientifique.
- » Planifier une tâche expérimentale, organiser son espace de travail, garder des traces des étapes suivies et des résultats obtenus.

Domaine du socle : 2

Pratiquer des langages

- » Lire et comprendre des documents scientifiques
- » Utiliser la langue française en cultivant précision, richesse de vocabulaire et syntaxe pour rendre compte des observations, expériences, hypothèses et conclusions.
- » S'exprimer à l'oral lors d'un débat scientifique.
- » Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

Domaine du socle : 1

Mobiliser des outils numériques

- » Utiliser des outils d'acquisition et de traitement de données, de simulations et de modèles numériques.
- » Produire des documents scientifiques grâce à des outils numériques, en utilisant l'argumentation et

le vocabulaire spécifique à la physique et à la chimie.

Domaine du socle : 2

Adopter un comportement éthique et responsable

- » Expliquer les fondements des règles de sécurité en chimie, électricité et acoustique. Réinvestir ces connaissances ainsi que celles sur les ressources et sur l'énergie, pour agir de façon responsable.
- » S'impliquer dans un projet ayant une dimension citoyenne.

Domaine du socle : 3, 5

Se situer dans l'espace et dans le temps

- » Expliquer, par l'histoire des sciences et des techniques, comment les sciences évoluent et influencent la société.
- » Identifier les différentes échelles de structuration de l'Univers.

Domaine du socle : 5

Organisation et transformations de la matière

Attendus de fin de cycle

- » Décrire la constitution et les états de la matière
- » Décrire et expliquer des transformations chimiques
- » Décrire l'organisation de la matière dans l'Univers

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Décrire la constitution et les états de la matière	
<p>Caractériser les différents états de la matière (solide, liquide et gaz).</p> <p>Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour étudier les propriétés des changements d'état.</p> <p>Caractériser les différents changements d'état d'un corps pur.</p> <p>Interpréter les changements d'état au niveau microscopique.</p> <p>Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer une masse volumique d'un liquide ou d'un solide.</p> <p>Exploiter des mesures de masse volumique pour différencier des espèces chimiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Espèce chimique et mélange. » Notion de corps pur. » Changements d'états de la matière. » Conservation de la masse, variation du volume, température de changement d'état. » Masse volumique : Relation $m = \rho \cdot V$ 	<p>Dans la continuité du cycle 2 au cours duquel l'élève s'est initié les différents états de la matière, ce thème a pour but de lui faire découvrir la nature microscopique de la matière et le passage de l'état physique aux constituants chimiques.</p> <p>Mise en œuvre d'expériences simples montrant la conservation de la masse (mais non conservation du volume) d'une substance lors d'un changement d'état.</p> <p>Si l'eau est le principal support expérimental – sans en exclure d'autres – pour l'étude des changements d'état, on pourra exploiter des données pour connaître l'état d'un corps dans un contexte fixé et exploiter la température de changement d'état pour identifier des corps purs.</p> <p>L'étude expérimentale sera l'occasion de mettre l'accent sur les transferts d'énergie lors des changements d'état.</p> <p>L'intérêt de la masse volumique est présenté pour mesurer un volume ou une masse quand on connaît l'autre grandeur mais aussi pour distinguer différents matériaux. Un travail avec les mathématiques sur les relations de proportionnalité et les grandeurs-quotients peut être proposé.</p>
<p>Concevoir et réaliser des expériences pour caractériser des mélanges.</p> <p>Estimer expérimentalement une valeur de solubilité dans l'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Solubilité. » Miscibilité. » Composition de l'air. 	<p>Ces études seront l'occasion d'aborder la dissolution de gaz dans l'eau au regard de problématiques liées à la santé et l'environnement.</p> <p>Ces études peuvent prendre appui ou illustrer les différentes méthodes de traitement des eaux (purification, désalinisation...).</p>

Décrire et expliquer des transformations chimiques

Mettre en œuvre des tests caractéristiques d'espèces chimiques à partir d'une banque fournie.

Identifier expérimentalement une transformation chimique.

Distinguer transformation chimique et mélange, transformation chimique et transformation physique.

Interpréter une transformation chimique comme une redistribution des atomes.

Utiliser une équation de réaction chimique fournie pour décrire une transformation chimique observée.

- » Notions de molécules, atomes, ions.
- » Conservation de la masse lors d'une transformation chimique.

Associer leurs symboles aux éléments à l'aide de la classification périodique.

Interpréter une formule chimique en termes atomiques.

- » Dioxygène, dihydrogène, diazote, eau, dioxyde de carbone.

Cette partie prendra appui sur des activités expérimentales mettant en œuvre différents types de transformations chimiques : combustions, réactions acide-base, réactions acides-métaux.

Utilisation du tableau périodique pour retrouver, à partir du nom de l'élément, le symbole et le numéro atomique et réciproquement.

Propriétés acidobasiques

Identifier le caractère acide ou basique d'une solution par mesure de pH.

Associer le caractère acide ou basique à la présence d'ions H^+ et OH^- .

- » Ions H^+ et OH^- .
- » Mesure du pH.
- » Réactions entre solutions acides et basiques.
- » Réactions entre solutions acides et métaux.

Ces différentes transformations chimiques peuvent servir de support pour introduire ou exploiter la notion de transformation chimique dans des contextes variés (vie quotidienne, vivant, industrie, santé, environnement).

La pratique expérimentale et les exemples de transformations abordées sont l'occasion de travailler sur les problématiques liées à la sécurité et à l'environnement.

Décrire l'organisation de la matière dans l'Univers

Décrire la structure de l'Univers et du système solaire.

Aborder les différentes unités de distance et savoir les convertir : du kilomètre à l'année-lumière.

- » Galaxies, évolution de l'Univers, formation du système solaire, âges géologiques.
- » Ordres de grandeur des distances astronomiques.

Connaitre et comprendre l'origine de la matière

Comprendre que la matière observable est partout de même nature et obéit aux mêmes lois.

- » La matière constituant la Terre et les étoiles.
- » Les éléments sur Terre et dans l'univers (hydrogène, hélium, éléments lourds : oxygène, carbone, fer, silicium...).
- » Constituants de l'atome, structure interne d'un noyau atomique (nucléons : protons, neutrons), électrons.

Ce thème fait prendre conscience à l'élève que l'Univers a été différent dans le passé, qu'il évolue dans sa composition, ses échelles et son organisation que le système solaire et la Terre participent de cette évolution.

L'élève réalise qu'il y a une continuité entre l'infiniment petit et l'infiniment grand et que l'échelle humaine se situe entre ces deux extrêmes.

Pour la formation de l'élève, c'est l'occasion de travailler sur des ressources en ligne et sur l'identification de sources d'informations fiables. Cette thématique peut être aussi l'occasion d'une ouverture vers la recherche, les observatoires et la nature des travaux menés grâce aux satellites et aux sondes spatiales.

Repères de progressivité

Du cycle 2 au cycle 3, l'élève a appréhendé par une première approche macroscopique les notions d'état physique et de changement d'état d'une part et les notions de mélange et de constituants d'un mélange d'autre part. Le cycle 4 permet d'approfondir, de consolider ces notions en abordant les premiers modèles de description microscopique de la matière et de ses transformations, et d'acquérir et d'utiliser le vocabulaire scientifique correspondant.

Dès la classe de 5^e, les activités proposées permettent de consolider les notions d'espèce chimique, de mélange et de corps pur, d'état physique et de changement d'état, par des études quantitatives : mesures et expérimentations sur la conservation de masse, la non conservation du volume et la proportionnalité entre masse et volume pour une substance donnée. L'introduction de la grandeur quotient masse volumique se fait progressivement à partir de la classe de 4^e.

Les notions de miscibilité et de solubilité peuvent être introduites expérimentalement dès le début du cycle. L'utilisation d'un modèle particulière pour décrire les états de la matière, les transformations physiques et les transformations chimiques peut être développée à partir de la classe de 5^e, même si le nom de certaines espèces chimiques a pu être rencontré antérieurement.

Les activités proposées permettent d'introduire expérimentalement des exemples de transformations chimiques dès la classe de 5^e, avec des liens possibles avec l'histoire des sciences d'une part, et les situations de la vie courante d'autre part. L'utilisation d'équations de réaction pour modéliser les transformations peut être initiée en classe de 4^e dans des cas simples.

Le tableau périodique est considéré à partir de la classe de 4^e comme un outil de classement et de repérage des atomes constitutifs de la matière, sans qu'il faille insister sur la notion d'élément chimique. La description de la constitution de l'atome et de la structure interne du noyau peut être réservée à la classe de 3^e, et permet un travail sur les puissances de dix en lien avec les mathématiques.

La partie « Décrire l'organisation de la matière dans l'Univers » peut être abordée tout au long du cycle comme objet d'étude et comme champ d'application pour le thème du programme

« Organisation et transformations de la matière », ainsi que pour les thèmes « Mouvement et interactions » et « Des signaux pour observer et communiquer ». Elle permet aussi une articulation avec le programme de sciences de la vie et de la Terre.

Mouvement et interactions

Attendus de fin de cycle

- » Caractériser un mouvement.
- » Modéliser une interaction par une force caractérisée par un point d'application, une direction, un sens et une valeur.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Caractériser un mouvement	
<p>Caractériser le mouvement d'un objet. Utiliser la relation liant vitesse, distance et durée dans le cas d'un mouvement uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Vitesse : direction, sens et valeur. » Mouvements rectilignes et circulaires. » Mouvements uniformes et mouvements dont la vitesse varie au cours du temps en direction ou en valeur. » Relativité du mouvement dans des cas simples. 	<p>L'ensemble des notions de cette partie peut être abordé à partir d'expériences simples réalisables en classe, de la vie courante ou de documents numériques.</p> <p>Utiliser des animations des trajectoires des planètes, qu'on peut considérer dans un premier modèle simplifié comme circulaires et parcourues à vitesse constante.</p> <p>Comprendre la relativité des mouvements dans des cas simples (train qui démarre le long d'un quai) et appréhender la notion d'observateur immobile ou en mouvement.</p>
Modéliser une interaction par une force caractérisée par un point d'application, une direction, un sens et une valeur	
<p>Identifier les interactions mises en jeu (de contact ou à distance) et les modéliser par des forces. Associer la notion d'interaction à la notion de force. Exploiter l'expression littérale scalaire de la loi de gravitation universelle, la loi étant fournie.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Action de contact et action à distance. » Force : point d'application, direction, sens et valeur. » Force de pesanteur et son expression $P=mg$. 	<p>L'étude mécanique d'un système peut être l'occasion d'utiliser les diagrammes objet-interaction.</p> <p>Expérimenter des situations d'équilibre statique (balance, ressort, force musculaire).</p> <p>Expérimenter la persistance du mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'interaction (frottement).</p> <p>Expérimenter des actions produisant un mouvement (fusée, moteur à réaction).</p> <p>Pesanteur sur Terre et sur la Lune, différence entre poids et masse (unités). L'impesanteur n'est abordée que qualitativement.</p>

Repères de progressivité

L'étude d'un mouvement a commencé au cycle 3 et les élèves ont appris à caractériser la vitesse d'un objet par une valeur. Le concept de vitesse est réinvesti et approfondi dès le début du cycle 4 en introduisant les caractéristiques direction et sens. Les notions de mouvement et de vitesse sont régulièrement mobilisées au cours du cycle 4 dans les différentes parties du programme comme « Décrire l'organisation de la matière dans l'Univers » et « Des signaux pour observer et communiquer ».

Que ce soit dans des situations d'objets en mouvement ou au repos, la notion d'interaction de contact ou à distance peut être abordée de manière descriptive dès le début du cycle 4. Progressivement et si possible dès la classe de 4^e, ces interactions sont modélisées par la notion de force caractérisée par une valeur, une direction, un sens et un point d'application.

En fin de cycle 4, un élève sait exploiter l'expression de la force de gravitation universelle quand son expression lui est donnée et la relation $P=mg$ tant au niveau expérimental que sur le plan formel. La progressivité des apprentissages peut être articulée avec celle du programme de mathématiques dans les parties « Utiliser le calcul littéral » (thème A) et « Résoudre des problèmes de proportionnalité » (thème B).

L'énergie et ses conversions

Attendus de fin de cycle

- » Identifier les sources, les transferts, les conversions et les formes d'énergie.
- » Utiliser la conservation de l'énergie.
- » Réaliser des circuits électriques simples et exploiter les lois de l'électricité.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Identifier les sources, les transferts, les conversions et les formes d'énergie Utiliser la conservation de l'énergie	
Identifier les différentes formes d'énergie. <ul style="list-style-type: none"> » Cinétique (relation $E_c = \frac{1}{2} mv^2$), potentielle (dépendant de la position), thermique, électrique, chimique, nucléaire, lumineuse. Identifier les sources, les transferts et les conversions d'énergie. Établir un bilan énergétique pour un système simple. <ul style="list-style-type: none"> » Sources. » Transferts. » Conversion d'un type d'énergie en un autre » Conservation de l'énergie. » Unités d'énergie. Utiliser la relation liant puissance, énergie et durée. <ul style="list-style-type: none"> » Notion de puissance 	Les supports d'enseignement gagnent à relever de systèmes ou de situations de la vie courante Les activités proposées permettent de souligner que toutes les formes d'énergie ne sont pas équivalentes ni également utilisables. Ce thème permet d'aborder un vocabulaire scientifique visant à clarifier les termes souvent rencontrés dans la vie courante : chaleur, production, pertes, consommation, gaspillage, économie d'énergie, énergies renouvelables.

Réaliser des circuits électriques simples et exploiter les lois de l'électricité

Élaborer et mettre en œuvre un protocole expérimental simple visant à réaliser un circuit électrique répondant à un cahier des charges simple ou à vérifier une loi de l'électricité.

Exploiter les lois de l'électricité.

- » Dipôles en série, dipôles en dérivation.
- » L'intensité du courant électrique est la même en tout point d'un circuit qui ne compte que des dipôles en série.
- » Loi d'additivité des tensions (circuit à une seule maille).
- » Loi d'additivité des intensités (circuit à deux mailles).
- » Relation tension-courant : loi d'Ohm.
- » Loi d'unicité des tensions.

Mettre en relation les lois de l'électricité et les règles de sécurité dans ce domaine.

Conduire un calcul de consommation d'énergie électrique relatif à une situation de la vie courante.

- » Puissance électrique $P = U \cdot I$.
- » Relation liant l'énergie, la puissance électrique et la durée.

Les exemples de circuits électriques privilégient les dispositifs rencontrés dans la vie courante : automobile, appareils portatifs, installations et appareils domestiques.

Les activités proposées permettent de sensibiliser les élèves aux économies d'énergie pour développer des comportements responsables et citoyens.

Repères de progressivité

La notion d'énergie est présente dans d'autres thèmes du programme de physique-chimie et d'autres disciplines ; les chaînes d'énergie sont notamment étudiées en technologie. Il est donc souhaitable de veiller à une bonne articulation entre les différentes approches disciplinaires de l'énergie pour construire efficacement ce concept.

L'étude du thème de l'énergie gagne à être présente chaque année. La classe de 5^e est l'occasion de revenir sur les attendus du cycle 3 concernant les sources et les conversions de l'énergie. Progressivement, au cycle 4, les élèves font la différence entre sources, formes, transferts et conversions et se construisent ainsi une idée cohérente du délicat concept d'énergie.

La comparaison d'ordres de grandeur d'énergies ou de puissances produites ou consommées par des dispositifs peut être introduite dès la classe de 5^e. La pleine maîtrise de la relation entre puissance et énergie est un objectif de fin de cycle. Elle s'acquiert en s'appuyant sur des exemples de complexité croissante.

L'expression littérale de l'énergie cinétique peut être réservée à la classe de 3^e. La pleine maîtrise de la notion de conservation de l'énergie est également un objectif de fin de cycle.

Le thème de l'électricité, abordé au cycle 2, ne fait pas l'objet d'un apprentissage spécifique au cycle 3. Certains aspects auront pu être abordés par les élèves au travers de l'étude d'une chaîne d'énergie simple ou du fonctionnement d'un objet technique.

Dès la classe de 5^e, la mise en œuvre de circuits simples visant à réaliser des fonctions précises est recommandée. L'étude des propriétés du courant électrique et de la tension peut être abordée dès la classe de 5^e notamment pour prendre en compte les représentations des élèves. En classes de 4^e et de 3^e, elle sera reprise avec le formalisme requis.

En classes de 4^e et de 3^e, les différentes lois de l'électricité peuvent être abordées sans qu'un ordre précis ne s'impose dans la mesure où la progression choisie reste cohérente. Les aspects énergétiques peuvent être réservés à la classe de 3^e.

Des signaux pour observer et communiquer

Attendus de fin de cycle

- » Caractériser différents types de signaux (lumineux, sonores, radio...).
- » Utiliser les propriétés de ces signaux.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
<p>Signaux lumineux</p> <p>Distinguer une source primaire (objet lumineux) d'un objet diffusant.</p> <p>Exploiter expérimentalement la propagation rectiligne de la lumière dans le vide et le modèle du rayon lumineux.</p> <p>Utiliser l'unité « année lumière » comme unité de distance.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation, année lumière. » Modèle du rayon lumineux. 	<p>L'exploitation de la propagation rectiligne de la lumière dans le vide et le modèle du rayon lumineux peut conduire à travailler sur les ombres, la réflexion et des mesures de distance.</p> <p>Les activités proposées permettent de sensibiliser les élèves aux risques d'emploi des sources lumineuses (laser par exemple).</p> <p>Les élèves découvrent différents types de rayonnements (lumière visible, ondes radio, rayons X...)</p>
<p>Signaux sonores</p> <p>Décrire les conditions de propagation d'un son.</p> <p>Relier la distance parcourue par un son à la durée de propagation.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Vitesse de propagation. » Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons. 	<p>Les exemples abordés privilégient les phénomènes naturels et les dispositifs concrets : tonnerre, sonar...</p> <p>Les activités proposées permettent de sensibiliser les élèves aux risques auditifs.</p>
<p>Signal et information</p> <ul style="list-style-type: none"> » Comprendre que l'utilisation du son et de la lumière permet d'émettre, de transporter un signal donc une information. 	

Repères de progressivité

À la fin du cycle 3, les élèves savent identifier un signal lumineux ou sonore et lui associer une information simple binaire. Au cycle 4, il s'agit d'enrichir les notions en introduisant les signaux et les informations analogiques permettant d'en caractériser une plus grande variété. Chaque situation mettant en œuvre une mesure sera l'occasion d'enrichir l'association signal-information en montrant comment l'exploitation d'un signal permet d'en extraire de l'information. C'est aussi l'occasion d'utiliser la relation entre distance, vitesse et durée (en introduction ou en réinvestissement si elle a été vue dans la partie « Mouvement et interactions »). La maîtrise de la notion de fréquence est un objectif de fin de cycle.

Cet enrichissement peut être conçu en articulation avec la partie « Analyser le fonctionnement et la structure d'un objet » du programme de technologie qui introduit les notions de nature d'un signal et d'une information.

Croisements entre enseignements

Quelques exemples de thèmes qui peuvent être travaillés avec plusieurs autres disciplines sont proposés ci-dessous. Cette liste ne vise pas l'exhaustivité et n'a pas de caractère obligatoire. Dans le cadre des enseignements pratiques interdisciplinaires (EPI), monde économique et professionnel la diversité des métiers de la science peut être explorée.

Corps, santé, bien-être et sécurité

- » En lien avec les SVT, la technologie
Sécurité, de la maison aux lieux publics : usage raisonné des produits chimiques, pictogrammes de sécurité, gestion et stockage des déchets chimiques au laboratoire, risque électrique domestique. Sécurité pour soi et pour autrui : risque et gestion du risque.
- » En lien avec l'EPS, les SVT, les mathématiques, la technologie.
Chimie et santé : fabrication des médicaments, prévention.

Culture et création artistiques

- » En lien avec les arts plastiques, l'éducation musicale, les SVT.
Son et lumière : sources, propagation, vitesse.
- » En lien avec les arts plastiques, les SVT, les mathématiques.
Lumière et arts : illusion d'optiques, trompe-l'œil, camera obscura, vitrail (de la lumière blanche aux lumières colorées).
- » En lien avec les arts plastiques, l'histoire des arts, le français.
Chimie et arts : couleur et pigments, huiles et vernis, restauration d'œuvres d'art.
- » En lien avec les arts plastiques, la technologie, l'histoire, le français, les mathématiques
Architecture et actions mécaniques : architecture métallique (Tour Eiffel...).

Transition écologique et développement durable

- » En lien avec les SVT, la technologie, les mathématiques, l'histoire et la géographie et le français
Chimie et environnement : transformations chimiques : sources de pollution, dépollution biochimique, chimie verte.
Recyclage des matériaux : tri des déchets, protection de l'environnement.
 Qualité et traitement des eaux (purification, désalinisation...) : potabilité de l'eau, techniques d'analyse, protection et gestion de l'eau, station d'épuration.
L'eau : ressource ; vivant ; exoplanètes ; formes de vie ; vapeur d'eau et effet de serre naturel ; risques naturels (grêle, inondations, ...) ; barrages et énergie hydroélectrique.
Gestion des ressources naturelles : gestion et consommation d'eau, d'énergie ; exploitation des ressources par les êtres humains (eau, matériaux, ressources énergétiques...) ; découverte et utilisation : les rapports à l'eau, aux richesses minières.
Énergie : production, consommation, pertes, gaspillage, économie, énergies renouvelables.

Information, communication, citoyenneté

- » En lien avec la technologie, l'EMI.
Information et communication : signaux sonores (émetteurs et récepteurs sonores : micro...) signaux lumineux, signaux électriques.
- » En lien avec l'EMI, les SVT, les mathématiques, le français, des travaux peuvent être proposés sur la distinction entre les connaissances et les croyances, la sécurité pour soi et pour autrui.

Langues et cultures de l'Antiquité

- » En lien avec les langues de l'Antiquité, l'histoire, les mathématiques, la technologie

Histoire des représentations de l'Univers : les savants de l'école d'Alexandrie (Eratosthène et la mesure de la circonférence de la Terre, Hipparque et la théorie des mouvements de la Lune et du Soleil, Ptolémée et le géocentrisme, Aristote et la rotondité de la Terre...), les instruments de mesure (astrolabe, sphère armillaire...).

- » En lien avec les langues de l'Antiquité, l'histoire, les mathématiques, la technologie.
Sciences et Antiquité : héritage de la Grèce antique dans la construction de la science.

Langues et cultures étrangères ou, le cas échéant, régionales

- » En lien avec les langues vivantes, des thèmes sont possibles autour de la question de l'universalité de la science.

Monde économique et professionnel

- » En lien avec la technologie, les SVT, des travaux sont possibles sur les applications des recherches en physique et en chimie impactant le monde économique : industrie chimique (médicaments, purification de l'eau, matériaux innovants, matériaux biocompatibles...), chaînes de production et de distribution d'énergie, métrologie...

Sciences, technologie et société.

- » En lien avec l'histoire, les mathématiques, la SVT, la technologie.
Histoire du monde : de l'Antiquité à Kepler.
- » En lien avec les mathématiques, l'histoire, la géographie, la technologie, des projets peuvent être proposés sur les instruments scientifiques, les instruments de navigation.

PROGRAMME DE PHYSIQUE - CHIMIE EN CLASSE DE SECONDE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE

Préambule

Objectifs

La culture scientifique et technique acquise au collège doit permettre à l'élève d'avoir une première représentation globale et cohérente du monde dans lequel il vit, dans son unité et sa diversité, qu'il s'agisse de la nature ou du monde construit par l'Homme. L'enseignement des sciences physiques et chimiques en seconde prolonge cette ambition en donnant à l'élève cette culture scientifique et citoyenne indispensable à une époque où l'activité scientifique et le développement technologique imprègnent notre vie quotidienne et les choix de société. Le citoyen doit pouvoir se forger son opinion sur des questions essentielles, comme celles touchant à l'humanité et au devenir de la planète. Cela n'est possible que s'il a pu bénéficier d'une formation de base suffisante pour avoir une analyse critique des problèmes posés et des solutions proposées. La science s'avère un instrument privilégié de cette formation parce qu'elle est école de structuration de l'esprit, susceptible d'aider durablement les élèves à observer, réfléchir, raisonner.

Par ailleurs, il importe de considérer la diversité des formes d'intelligence et de sensibilité comme voies d'accès à la réussite de tous les élèves. Plutôt que de privilégier une réussite fondée sur des considérations virtuelles et formelles, dans le seul domaine de la pensée, l'atout des sciences expérimentales comme la physique et la chimie est de s'appuyer sur l'observation, le concret et le « faire ensemble ». La réussite par le travail en équipe doit pouvoir faire pièce à l'échec individuel. Les sciences sont aussi, aux côtés des humanités et des arts, un lieu de rencontre avec les constructions les plus élevées de l'esprit humain, qui donnent accès à la beauté des lois de la nature en mobilisant les multiples ressources de l'imagination. Elles doivent donc trouver naturellement leur place dans la mise en valeur des qualités individuelles propres de chaque élève, afin de l'aider à découvrir ses talents et à s'accomplir.

Enfin, sans préjuger des choix finals des élèves en matière d'orientation, il s'agit de les aider dans la construction de leur parcours personnel. Il n'est pas indifférent à cet égard de rappeler le déficit de notre pays en vocations scientifiques. Donner aux jeunes le goût des sciences, en particulier aux filles, et faire découvrir les formations et les métiers liés aux sciences pour les éclairer dans leur démarche d'orientation, s'avèrent être ainsi des priorités de l'enseignement de la physique et de la chimie en classe de seconde.

Modalités

Tout en s'inscrivant dans la continuité des acquis du collège et du socle commun de connaissances et de compétences, l'enseignement de la physique et de la chimie donne une place plus importante aux lois et aux modèles qui permettent de décrire et de prévoir le comportement de la nature. Pour cela, il permet la construction progressive et la mobilisation du corpus de connaissances scientifiques de base, en développant des **compétences** — soulignées dans le texte ci-dessous — apportées par une initiation aux pratiques et méthodes des sciences expérimentales et à leur genèse : la démarche scientifique, l'approche expérimentale, la mise en perspective historique, pour lesquelles sont convoquées la coopération interdisciplinaire, l'usage des TIC et l'entrée thématique.

La démarche scientifique

La science est un mode de pensée qui s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficaces, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale. Contrairement à la pensée dogmatique, la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps. Initier l'élève à la démarche scientifique c'est lui permettre d'acquérir des **compétences** qui le rendent capable de mettre en œuvre un raisonnement pour identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique.

Il doit pour cela pouvoir mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes. Il lui faut également raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe. En devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières.

Dans la continuité du collège, la démarche d'investigation s'inscrit dans cette logique pédagogique.

L'approche expérimentale

Associée à un questionnement, l'approche expérimentale contribue à la formation de l'esprit et à l'acquisition, évaluée par le professeur, de compétences spécifiques. L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Elle lui permet de confronter ses représentations avec la réalité. Elle développe l'esprit d'initiative, la curiosité et le sens critique. Elle est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une expérimentation authentique et sûre.

Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. Connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir.

L'apprentissage de la rigueur et de la plus grande exactitude est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Cet enseignement pose les bases de comportements sociétaux responsables qui fondent la possibilité du vivre ensemble. En effet, la règle de droit peut être amenée à s'appuyer sur des normes quantitatives communes.

La mise en perspective historique

La science a été élaborée par des hommes et des femmes, vivant dans un contexte temporel, géographique et sociétal donné. En remettant en cause les conceptions du monde et la place de l'Homme, son progrès s'est souvent heurté aux conservatismes, aux traditions, aux arguments d'autorité, aux obscurantismes de toutes sortes. En ce sens, faire connaître à l'élève l'histoire de la construction de la connaissance scientifique est source d'inspiration pour la liberté intellectuelle, l'esprit critique et la volonté de persévérer. Elle est également une école d'humilité et de patience dans la mesure où cette histoire s'est accompagnée d'un impressionnant cortège d'hypothèses fausses, de notions erronées autant que de controverses passionnées.

L'approche historique montre que la science moderne, qui transcende les différences culturelles, est universelle et qu'elle est désormais le bien de l'humanité tout entière.

Le lien avec les autres disciplines

De même que l'étude efficiente et contextualisée du réel nécessite les apports croisés des différents domaines concernés de la connaissance, les grands défis auxquels nos sociétés sont confrontées exigent une approche scientifique et culturelle globale. Il convient donc de rechercher les liens entre les sciences physiques et chimiques avec les autres disciplines, à commencer par les sciences de la vie et de la Terre, les mathématiques et la technologie, mais aussi les disciplines non scientifiques.

Les sciences physiques et chimiques apportent leur contribution à l'enseignement de l'histoire des arts en soulignant les relations entre l'art, la science et la technique, notamment dans les rapports de l'art avec l'innovation et la démarche scientifique, ou dans le discours tenu par l'art sur les sciences et les techniques.

La coopération interdisciplinaire amène un nouveau rapport pédagogique à la connaissance, qui peut permettre ultérieurement à chacun d'agir de façon éclairée dans sa vie courante ou l'exercice de sa profession.

L'usage adapté des TIC

L'activité expérimentale des sciences physiques et chimiques s'appuie avec profit sur les technologies de l'information et de la communication : expérimentation assistée par ordinateurs, saisie et traitement des mesures. La simulation est l'une des modalités de pratique de la démarche scientifique susceptible d'être mobilisée par le professeur.

La recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'Internet.

L'usage de caméras numériques, de dispositifs de projection, de tableaux interactifs et de logiciels généralistes ou spécialisés doit être encouragé.

Les travaux pédagogiques et les réalisations d'élèves gagneront à s'insérer dans le cadre d'un environnement numérique de travail (ENT), au cours ou en dehors des séances.

Il faudra toutefois veiller à ce que l'usage des TIC comme auxiliaire de l'activité didactique ne se substitue pas à une activité expérimentale directe et authentique.

L'entrée thématique de l'enseignement

La prise en compte de la diversité des publics accueillis en classe de seconde nécessite une adaptation des démarches et des progressions. La présentation des programmes sous forme de thèmes a été retenue pour répondre à cette nécessité car elle offre au professeur une plus grande liberté pédagogique qu'une présentation classique pour aborder les notions de chimie et de physique.

L'approche thématique permet aussi de développer l'intérêt pour les sciences en donnant du sens aux contenus enseignés en explorant des domaines très divers, tout en gardant un fil conducteur qui assure une cohérence à l'ensemble des notions introduites. L'enseignement thématique se prête particulièrement bien à la réalisation de projets d'élèves, individualisés ou en groupes. Ces projets placent les élèves en situation d'activité intellectuelle, facilitent l'acquisition de compétences et le conduisent à devenir autonome.

Trois thèmes relatifs à la santé, la pratique sportive, et à l'Univers constituent le programme. Ils permettent à la discipline d'aborder et d'illustrer de façon contextualisée, à partir de problématiques d'ordre sociétal ou naturel, des contenus et méthodes qui lui sont spécifiques. Le thème santé traite des bases du diagnostic médical et de la constitution des médicaments. Celui de la pratique du sport introduit l'étude du mouvement, les besoins et réponses de l'organisme, le concept de pression, les matériaux et molécules intervenant dans le sport. Le thème de l'Univers, des grandes structures cosmiques à la structure de la matière, en passant par les étoiles, planètes et le système solaire, permet de présenter une unité structurale fondée sur l'universalité des lois et des éléments.

Ces trois thèmes doivent être traités par le professeur qui peut choisir l'ordre de leur présentation en veillant à une introduction progressive des difficultés et des exigences, notamment au niveau des outils mathématiques.

Certaines notions sont présentes dans plusieurs thèmes, voire plusieurs fois dans un même thème ; le professeur peut ainsi les aborder sous des angles différents, les compléter ou bien ne pas y revenir s'il considère qu'elles sont acquises. La seule contrainte est qu'en fin d'année scolaire l'enseignement dispensé au travers des trois thèmes ait couvert l'ensemble des notions et contenus.

Les thèmes sont présentés en deux colonnes intitulées :

- NOTIONS ET CONTENUS : il s'agit des concepts à étudier ;
- COMPETENCES ATTENDUES : il s'agit de connaissances à mobiliser, de capacités à mettre en œuvre et d'attitudes à acquérir et dont la maîtrise est attendue en fin d'année scolaire. Lorsqu'elles sont écrites en italique, ces compétences sont de nature expérimentale.

LA SANTÉ

Les citoyens doivent acquérir une culture scientifique de façon à procéder à des choix raisonnés en matière de santé. L'objectif de ce thème est de montrer et d'expliquer le rôle des sciences physiques et chimiques dans les domaines du diagnostic médical et des médicaments.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p>Le diagnostic médical : l'analyse de signaux périodiques, l'utilisation de l'imagerie et des analyses médicales permettent d'établir un diagnostic. Des exemples seront pris dans le domaine de la santé (électrocardiogramme, électroencéphalogramme, radiographie, échographie, fibroscopie, ...). L'observation de résultats d'analyses médicales permet d'introduire les notions de concentration et d'espèces chimiques ainsi que des considérations sur la constitution et la structure de la matière.</p>	
<p>Signaux périodiques : période, fréquence, tension maximale, tension minimale.</p>	<p>Connaître et utiliser les définitions de la période et de la fréquence d'un phénomène périodique. <i>Identifier le caractère périodique d'un signal sur une durée donnée.</i> <i>Déterminer les caractéristiques d'un signal périodique.</i></p>
<p>Ondes sonores, ondes électromagnétiques. Domaines de fréquences.</p> <p>Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air.</p> <p>Réfraction et réflexion totale.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations concernant la nature des ondes et leurs fréquences en fonction de l'application médicale. Connaître une valeur approchée de la vitesse du son dans l'air.</p> <p>Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air).</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale.</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour comprendre le principe de méthodes d'exploration et l'influence des propriétés des milieux de propagation.</i></p>
<p>Espèces chimiques, corps purs et mélanges.</p> <p>Un modèle de l'atome. Noyau (protons et neutrons), électrons. Nombre de charges et numéro atomique Z. Nombre de nucléons A. Charge électrique élémentaire, charges des constituants de l'atome. Électroneutralité de l'atome.</p> <p>Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole.</p> <p>Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations concernant la nature des espèces chimiques citées dans des contextes variés.</p> <p>Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole A_ZX. Savoir que l'atome est électriquement neutre. Connaître le symbole de quelques éléments.</p> <p>Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. <i>Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions.</i></p> <p>Dénombrer les électrons de la couche externe.</p>

<p>Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels.</p> <p>Formules et modèles moléculaires. Formules développées et semi-développées. Isomérisie.</p> <p>Classification périodique des éléments. Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe. Familles chimiques.</p>	<p>Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels.</p> <p>Représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires. Savoir qu'à une formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées. <i>Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation.</i></p> <p><i>Localiser, dans la classification périodique, les familles des alcalins, des halogènes et des gaz nobles.</i> Utiliser la classification périodique pour retrouver la charge des ions monoatomiques.</p>
<p>Solution : solvant, soluté, dissolution d'une espèce moléculaire ou ionique. Analyses médicales ; concentrations massique et molaire d'une espèce en solution non saturée. La quantité de matière. Son unité : la mole. Constante d'Avogadro, N_A. Masses molaires atomique et moléculaire : M ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).</p>	<p>Savoir qu'une solution contient des molécules ou des ions. Savoir que la concentration d'une solution en espèce dissoute peut s'exprimer en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ou en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Connaître et exploiter l'expression des concentrations massique et molaire d'une espèce moléculaire ou ionique dissoute. Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).</i></p>
<p>Les médicaments : un médicament générique et un médicament « princeps » contiennent un même principe actif mais se différencient par leur formulation.</p>	
<p>Principe actif, excipient, formulation.</p> <p>Espèces chimiques naturelles et synthétiques. Groupes caractéristiques.</p>	<p>Analyser la formulation d'un médicament. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour montrer qu'une espèce active interagit avec le milieu dans lequel elle se trouve (nature du solvant, pH).</i></p> <p>Comprendre le rôle de la chimie de synthèse. Repérer la présence d'un groupe caractéristique dans une formule développée.</p>
<p>Solution : solvant, soluté, dissolution d'une espèce moléculaire ou ionique.</p> <p>Concentrations massique et molaire d'une espèce en solution non saturée. Dilution d'une solution.</p>	<p>Savoir qu'une solution peut contenir des molécules ou des ions.</p> <p>Connaître et exploiter l'expression des concentrations massique et molaire d'une espèce moléculaire ou ionique dissoute. <i>Prélever une quantité de matière d'une espèce chimique donnée.</i> <i>Élaborer ou mettre en œuvre un protocole de dissolution, de dilution.</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).</i></p>

<p>Extraction, séparation et identification d'espèces chimiques. Aspect historique et techniques expérimentales. Caractéristiques physiques d'une espèce chimique : aspect, température de fusion, température d'ébullition, solubilité, densité, masse volumique. Chromatographie sur couche mince.</p>	<p>Interpréter les informations provenant d'étiquettes et de divers documents. <i>Élaborer et mettre en œuvre un protocole d'extraction à partir d'informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques recherchées.</i> <i>Utiliser une ampoule à décanter, un dispositif de filtration, un appareil de chauffage dans les conditions de sécurité.</i> <i>Réaliser et interpréter une chromatographie sur couche mince (mélanges colorés et incolores).</i></p>
<p>Synthèse d'une espèce chimique. Densité, masse volumique.</p>	<p>Déterminer la masse d'un échantillon à partir de sa densité, de sa masse volumique. Déterminer une quantité de matière connaissant la masse d'un solide ou le volume d'un liquide. <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour réaliser la synthèse d'une molécule et son identification.</i></p>
<p>Système chimique. Réaction chimique. Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique.</p>	<p>Décrire un système chimique et son évolution. Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects. <i>Étudier l'évolution d'un système chimique par la caractérisation expérimentale des espèces chimiques présentes à l'état initial et à l'état final.</i></p>

LA PRATIQUE DU SPORT

La pratique du sport est fortement répandue dans nos sociétés, dans les loisirs ou en compétition.

L'objectif premier de ce thème est de montrer concrètement que l'analyse de l'activité sportive est possible en ayant recours à des connaissances et à des méthodes scientifiques. Leur prise en compte dans une approche pluridisciplinaire permet d'améliorer la pratique sportive et de l'adapter de façon raisonnée à la recherche d'un bon état de santé.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
L'étude du mouvement : l'observation, l'analyse de mouvements et le chronométrage constituent une aide à l'activité sportive. Des lois de la physique permettent d'appréhender la nature des mouvements effectués dans ce cadre.	
Relativité du mouvement. Référentiel. Trajectoire. Mesure d'une durée ; chronométrage.	Comprendre que la nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi. <i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i> Porter un regard critique sur un protocole de mesure d'une durée en fonction de la précision attendue
Actions mécaniques, modélisation par une force. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Rôle de la masse du corps. Principe d'inertie.	Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps. Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces. <i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i>
Les besoins et les réponses de l'organisme lors d'une pratique sportive : lors d'une activité physique, des transformations chimiques et physiques se produisent et s'accompagnent d'effets thermiques. Les apports alimentaires constitués d'espèces ioniques ou moléculaires permettent de compenser les pertes dues au métabolisme et à l'effort.	
Solution : solvant, soluté, dissolution d'une espèce moléculaire ou ionique. Concentrations massique et molaire d'une espèce en solution non saturée. La quantité de matière. Son unité : la mole. Constante d'Avogadro, N_A . Masses molaires atomique et moléculaire : M ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$). Dilution d'une solution.	Savoir qu'une solution peut contenir des molécules ou des ions. Savoir que la concentration d'une solution en espèce dissoute peut s'exprimer en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ou en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Connaître et exploiter l'expression de la concentration massique ou molaire d'une espèce moléculaire ou ionique dissoute. Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques. Déterminer une quantité de matière connaissant la masse d'un solide. <i>Prélever une quantité de matière d'une espèce chimique donnée.</i> <i>Préparer une solution de concentration donnée par dissolution ou par dilution.</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).</i>
Système chimique. Réaction chimique. Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique.	Décrire un système chimique et son évolution. Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects. Exemple d'une combustion. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence l'effet thermique d'une transformation chimique ou physique.</i>

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p>La pression : la pression est une grandeur physique qui permet de comprendre l'influence de l'altitude sur les performances sportives et les effets physiologiques ressentis en plongée subaquatique.</p>	
<p>Pression d'un gaz, pression dans un liquide. Force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface.</p> <p>Pression dans un liquide au repos, influence de la profondeur.</p> <p>Dissolution d'un gaz dans un liquide. Loi de Boyle-Mariotte, un modèle de comportement de gaz, ses limites.</p>	<p>Savoir que dans les liquides et dans les gaz la matière est constituée de molécules en mouvement. Utiliser la relation $P = F/S$, F étant la force pressante exercée sur une surface S, perpendiculairement à cette surface.</p> <p>Savoir que la différence de pression entre deux points d'un liquide dépend de la différence de profondeur. Savoir que la quantité maximale de gaz dissous dans un volume donné de liquide augmente avec la pression. Savoir que, à pression et température données, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures.</i></p>
<p>Les matériaux et les molécules dans le sport : la chimie permet d'améliorer le confort de la pratique et les performances par l'élaboration de nouveaux matériaux. Elle permet aussi de soigner et de procéder à des analyses de plus en plus précises pour lutter contre le dopage.</p>	
<p>Matériaux naturels et synthétiques.</p> <p>Molécules simples ou complexes : structures et groupes caractéristiques. Formules et modèles moléculaires.</p> <p>Formules développées et semi-développées. Isomérie.</p>	<p>Savoir que certains matériaux proviennent de la nature et d'autres de la chimie de synthèse.</p> <p>Repérer la présence d'un groupe caractéristique dans une formule développée. Représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires. Savoir qu'à une formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées. <i>Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation.</i></p>
<p>Extraction, séparation et identification d'espèces chimiques. Aspect historique et techniques expérimentales. Caractéristiques physiques d'une espèce chimique : aspect, température de fusion, température d'ébullition, solubilité, densité, masse volumique.</p> <p>Chromatographie sur couche mince.</p>	<p>Interpréter les informations provenant d'étiquettes et de divers documents. <i>Élaborer ou mettre en œuvre un protocole d'extraction à partir d'informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques recherchées.</i> <i>Utiliser une ampoule à décanter, un dispositif de filtration, un appareil de chauffage dans les conditions de sécurité.</i> <i>Réaliser et interpréter une chromatographie sur couche mince (mélanges colorés et incolores).</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).</i></p>

L'UNIVERS

L'Homme a de tout temps observé les astres afin de se situer dans l'Univers. L'analyse de la lumière émise par les étoiles lui a permis d'en connaître la composition ainsi que celle de leur atmosphère et de la matière interstellaire. L'étude du mouvement des planètes autour du Soleil l'a conduit à la loi de gravitation universelle. Il apparaît ainsi que le monde matériel présente une unité structurale fondée sur l'universalité des atomes et des lois.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p>Une première présentation de l'Univers : le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique. Les dimensions de l'Univers sont telles que la distance parcourue par la lumière en une année est l'unité adaptée à leur mesure.</p>	
<p>Description de l'Univers : l'atome, la Terre, le système solaire, la Galaxie, les autres galaxies, exoplanètes et systèmes planétaires extrasolaires.</p> <p>Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air. L'année de lumière.</p>	<p>Savoir que le remplissage de l'espace par la matière est essentiellement lacunaire, aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique.</p> <p>Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air). Connaître la définition de l'année de lumière et son intérêt. Expliquer l'expression : « voir loin, c'est voir dans le passé ». Utiliser les puissances de 10 dans l'évaluation des ordres de grandeur.</p>
<p>Les étoiles : l'analyse de la lumière provenant des étoiles donne des informations sur leur température et leur composition. Cette analyse nécessite l'utilisation de systèmes dispersifs.</p>	
<p>Les spectres d'émission et d'absorption : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies. Raies d'émission ou d'absorption d'un atome ou d'un ion. Caractérisation d'une radiation par sa longueur d'onde.</p> <p>Dispersion de la lumière blanche par un prisme. Réfraction. Lois de Snell-Descartes.</p>	<p>Savoir qu'un corps chaud émet un rayonnement continu, dont les propriétés dépendent de la température.</p> <p>Repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption une radiation caractéristique d'une entité chimique. <i>Utiliser un système dispersif pour visualiser des spectres d'émission et d'absorption et comparer ces spectres à celui de la lumière blanche.</i> Savoir que la longueur d'onde caractérise dans l'air et dans le vide une radiation monochromatique. Interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile : température de surface et entités chimiques présentes dans l'atmosphère de l'étoile. Connaître la composition chimique du Soleil.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i> Interpréter qualitativement la dispersion de la lumière blanche par un prisme.</p>

<p>Les éléments chimiques présents dans l'Univers : au sein des étoiles se forment des éléments chimiques qui font partie des constituants de l'Univers. La matière qui nous entoure présente une unité structurale fondée sur l'universalité des éléments chimiques.</p>	
<p>Un modèle de l'atome. Noyau (protons et neutrons), électrons. Nombre de charges et numéro atomique Z. Nombre de nucléons A. Charge électrique élémentaire, charges des constituants de l'atome. Électroneutralité de l'atome. Masse des constituants de l'atome ; masse approchée d'un atome et de son noyau. Dimension : ordre de grandeur du rapport des dimensions respectives de l'atome et de son noyau.</p> <p>Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole.</p> <p>Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18.</p> <p>Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels.</p> <p>Classification périodique des éléments. Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe.</p>	<p>Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole A_ZX.</p> <p>Savoir que l'atome est électriquement neutre. Connaître le symbole de quelques éléments.</p> <p>Savoir que la masse de l'atome est pratiquement égale à celle de son noyau.</p> <p>Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. <i>Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions.</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour vérifier la conservation des éléments au cours d'une réaction chimique.</i></p> <p>Dénombrer les électrons de la couche externe.</p> <p>Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels.</p> <p>Utiliser la classification périodique pour retrouver la charge des ions monoatomiques.</p>
<p>Le système solaire : l'attraction universelle (la gravitation universelle) assure la cohésion du système solaire. Les satellites et les sondes permettent l'observation de la Terre et des planètes.</p>	
<p>Relativité du mouvement. Référentiel. Trajectoire.</p>	<p>Comprendre que la nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi.</p>
<p>La gravitation universelle. L'interaction gravitationnelle entre deux corps. La pesanteur terrestre.</p>	<p>Calculer la force d'attraction gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps à répartition sphérique de masse. Savoir que la pesanteur terrestre résulte de l'attraction terrestre. Comparer le poids d'un même corps sur la Terre et sur la Lune.</p>
<p>Actions mécaniques, modélisation par une force. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Rôle de la masse du corps. Principe d'inertie.</p> <p>Observation de la Terre et des planètes.</p>	<p>Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps. Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces. <i>Mettre en œuvre une démarche d'expérimentation utilisant des techniques d'enregistrement pour comprendre la nature des mouvements observés dans le système solaire.</i></p> <p>Analyser des documents scientifiques portant sur l'observation du système solaire.</p>

Annexe**SCIENCES****ENSEIGNEMENTS SPÉCIFIQUES - CYCLE TERMINAL DE LA SÉRIE ÉCONOMIQUE ET SOCIALE ET DE LA SÉRIE LITTÉRAIRE
CLASSE DE PREMIÈRE****Préambule**

Au collège et jusqu'en classe de seconde, l'élève a bénéficié d'un enseignement scientifique qui lui a permis de se construire une première représentation globale et cohérente du monde dans lequel il vit. En classe de première littéraire ou économique et sociale, l'enseignement de sciences prolonge cette ambition en poursuivant la construction de la culture scientifique et citoyenne indispensable dans un monde où l'activité scientifique et le développement technologique imprègnent sa vie quotidienne et les choix de société. L'aspect culturel doit donc être privilégié dans ce programme. Cet enseignement de sciences est construit non pas comme une simple juxtaposition de deux disciplines mais comme une étude de thèmes par l'approche croisée de la chimie, de la physique, des sciences de la Terre et des sciences de la vie afin d'offrir un enseignement global. En même temps, chaque discipline a des apports indépendants, originaux et spécifiques. Afin de faciliter la réorientation entre les séries ES, L et S au cours ou à la fin de l'année de première, les programmes de sciences des séries ES et L d'une part et de la série S d'autre part permettent de faire acquérir des connaissances et des compétences dont certaines sont voisines.

1. Faire acquérir une culture scientifique

L'enseignement de sciences en classe de première des séries économique et sociale ou littéraire est d'abord conçu pour faire acquérir aux élèves une culture scientifique. Ainsi cet enseignement scientifique a comme objectifs de permettre à l'élève :

- d'acquérir des connaissances nécessaires à la compréhension des questions et problématiques scientifiques telles qu'il peut les rencontrer quotidiennement ;
- d'appréhender des enjeux de la science en lien avec des questions de société comme le développement durable et la santé, en portant un regard critique afin d'agir en citoyen responsable ;
- de susciter son envie d'approfondir ces questions à travers la consultation de ressources documentaires variées ;
- de comprendre d'une manière simple les démarches ayant mené aux notions et concepts actuels au travers, par exemple, de l'histoire des sciences.

2. Contribuer à la construction de compétences**Une formation scientifique**

Contrairement à la pensée dogmatique, la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps. Former l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des compétences qui le rendent capable de mettre en œuvre un raisonnement :

- en identifiant un problème, en formulant des hypothèses pertinentes, en les confrontant aux constats expérimentaux et en exerçant son esprit critique à l'égard des sources et des méthodes d'analyse ;
- en prélevant et en exploitant des informations dans des revues, des sites internet, des médias scientifiques, etc.

Il lui faut rechercher, extraire et organiser l'information utile et également raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe.

Il s'agit pour lui de tirer des conclusions fondées sur des faits en ayant soin de sélectionner des données, d'en évaluer la pertinence scientifique (distinguer le prouvé du probable ou de l'incertain) et d'appréhender le caractère éventuellement incomplet des informations recueillies l'empêchant alors de conclure de manière certaine.

L'élève est ainsi confronté à des données scientifiques ou des faits d'actualité suscitant le questionnement et lui permettant de construire des éléments de réponses. On lui donne l'envie « d'aller plus loin » par l'accès personnel aux ouvrages ou revues de bonne vulgarisation scientifique.

Dans ce contexte, l'élève construit et mobilise ses connaissances.

En présentant la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières et de développer le goût de la rigueur dans l'expression et de l'enrichissement du vocabulaire. Il élabore des synthèses, des commentaires et des argumentations, à l'écrit comme à l'oral, sous la forme d'exposés, de débats, à partir de supports divers (scientifiques mais aussi littéraires, historiques, etc.).

Des compétences sociales et civiques

Tout au long de cet enseignement, il s'agit d'amener l'élève à réfléchir à la manière dont la science et les progrès technologiques interagissent avec la société et son quotidien. Il doit prendre ainsi conscience que ces progrès, s'ils apportent des solutions ou des améliorations, peuvent être aussi à l'origine de questions nouvelles. Afin de développer son esprit critique, sa curiosité et son esprit d'initiative, on engage l'élève dans des débats argumentés le conduisant à proposer une argumentation scientifique portant sur des questions de société, sur les avantages et limites des avancées scientifiques et technologiques ou sur des problématiques de santé ou de développement durable.

Une convergence des disciplines

Les grands défis auxquels nos sociétés sont confrontées exigent une approche scientifique et culturelle globale de même que l'approche de la complexité du réel nécessite l'apport croisé des différents champs disciplinaires.

Le croisement des regards disciplinaires vise à éduquer à une approche systémique et à développer des compétences adaptées au traitement de la complexité : prendre conscience de la multiplicité des approches, s'interroger de façon à multiplier les éclairages, rechercher des explications dans différents domaines avant d'en confronter les implications. On rejoint ainsi les sciences économiques et sociales, les mathématiques, l'histoire-géographie, l'éducation civique, juridique et sociale par exemple.

Les technologies de l'information et de la communication

Les sciences expérimentales participent à la préparation et à la validation du B2i niveau lycée et de ce fait concourent à la maîtrise des techniques usuelles de l'information et de la communication favorisant l'insertion sociale et professionnelle.

La recherche documentaire sur internet sera l'occasion de renforcer les compétences liées à l'utilisation des Tic déjà travaillées au collège et en seconde permettant à l'élève :

- de faire de ce mode de recherche une utilisation raisonnée ;
- de percevoir les possibilités et les limites des traitements informatisés ;
- de faire preuve d'esprit critique face aux résultats de ces traitements ;
- d'identifier les contraintes juridiques et sociales dans lesquelles s'inscrivent ces utilisations.

L'attractivité que représente la diversification des modalités d'échanges au cours des débats argumentés pourra notamment s'envisager à travers l'utilisation d'un forum ou d'un groupe de travail implanté sur l'environnement numérique de travail (ENT) du lycée.

3. Histoire des arts

En continuité avec les préconisations des programmes de collège et de la classe de seconde, les sciences apportent leur contribution à l'enseignement de l'histoire des arts en soulignant les relations entre les arts, la science et la technique, notamment dans les rapports des arts avec l'innovation et la démarche scientifiques ou dans le discours que tiennent les arts sur les sciences et les techniques.

4. Évaluation

L'évaluation doit porter davantage sur la mobilisation de connaissances dans des contextes nouveaux et variés que sur une simple restitution des notions et contenus définis dans le programme. Elle fait référence principalement aux capacités des élèves à trier des informations, à en établir le bien-fondé et à les mettre en relation. Elle concerne également les capacités à communiquer à l'écrit mais aussi à l'oral à travers des synthèses, des commentaires et des argumentations.

Formative ou sommative, l'évaluation doit permettre de tester les compétences de l'élève et donc son aptitude à appréhender une problématique en lien avec les sciences et ce, de manière raisonnée.

Organisation de l'enseignement

Cet enseignement de sciences est organisé en trois parties : deux thèmes communs aux deux disciplines (« Représentation visuelle » et « Nourrir l'Humanité ») et un thème propre à chacune d'elles : « Féminin-Masculin » pour les sciences de la vie et de la Terre et « Le défi énergétique » pour les sciences physiques et chimiques.

Le thème « **Représentation visuelle** » permet d'une part l'étude des propriétés de la lumière en rapport avec un système de réception, l'œil, et d'autre part celle de la représentation du monde que construit le cerveau.

Le thème « **Nourrir l'Humanité** » permet d'étudier sous les angles physico-chimiques et biologiques les pratiques agricoles et les modes de conservation des aliments, dégagant ainsi la nécessité de produire plus et mieux, en préservant les ressources naturelles, l'environnement et la santé.

Le thème propre aux sciences de la vie et de la Terre « **Féminin-Masculin** » permet de montrer comment la connaissance du déterminisme sexuel et de son contrôle hormonal a abouti à la mise au point des méthodes chimiques actuelles de maîtrise de sa procréation par un couple. Ce sera l'occasion de rappeler les principes d'hygiène et de prévention.

Le thème propre aux sciences physiques et chimiques « **Le défi énergétique** » est l'occasion de présenter les principales sources d'énergies, renouvelables ou non, et d'appréhender les problématiques de gestion des ressources dans une logique de développement durable.

Les deux thèmes communs aux deux disciplines expérimentales (sciences de la vie et de la Terre, sciences physiques et chimiques) représentent environ les deux tiers du programme, et l'ensemble des thèmes propres à chacune des disciplines constitue le troisième tiers.

L'ordre de présentation de chacun des thèmes ne préjuge en rien de leur programmation annuelle, laissée à l'appréciation des enseignants, de même que leur durée exacte.

Le programme est présenté en deux colonnes pour chaque thème :

- la colonne intitulée « Notions et contenus » définit les sujets d'études ;
- la colonne intitulée « Compétences exigibles » définit les connaissances et capacités que l'élève devra savoir mobiliser dans un contexte donné.

Représentation visuelle

Nous vivons dans un monde où les images sont omniprésentes, fixes ou animées, véhiculées par différents médias. Mais ces images traduisent-elles la réalité du monde qui nous entoure ? Cette interrogation n'est pas nouvelle, elle sous-tendait déjà le mythe de la caverne de Platon où Socrate démontre à son disciple Glaucon que l'on n'a du monde que des images (les « ombres ») personnelles limitées par ses propres moyens d'accès à la connaissance du réel.

La représentation visuelle, qui passe par la perception visuelle, est le fruit d'une construction cérébrale. Dans sa composante sciences physiques et chimiques, l'objectif de ce thème est d'amener l'élève à comprendre :

- le fonctionnement de l'œil en tant qu'appareil optique ;
- le principe de la correction de certains défauts de l'œil ;
- l'obtention des couleurs de la matière.

Dans sa composante sciences de la vie et de la Terre, l'objectif de ce thème est d'amener l'élève à comprendre les bases scientifiques de la perception visuelle qui :

- dépend de la qualité des messages transmis vers le cerveau, eux-mêmes directement liés à la qualité de l'image formée sur la rétine (avec la possibilité de la corriger par des lentilles artificielles) et à la nature des récepteurs ;
- met en jeu plusieurs zones spécialisées du cerveau qui communiquent entre elles ;
- permet, associée à la mémoire et à des structures spécifiques du langage, l'apprentissage de la lecture ;
- peut être perturbée par des drogues agissant sur la communication entre neurones ;
- peut présenter des déficiences dont certaines peuvent être traitées.

Cet enseignement doit aider l'élève à adopter des comportements pour préserver l'intégrité de sa vision et du fonctionnement de son cerveau.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
De l'œil au cerveau	
<p>L'œil : système optique et formation des images</p> <p>Conditions de visibilité d'un objet. Approche historique de la conception de la vision.</p> <p>Modèle réduit de l'œil.</p> <p>Lentilles minces convergentes, divergentes. Éléments caractéristiques d'une lentille mince convergente : centre optique, axe optique, foyers, distance focale. Construction géométrique de l'image d'un petit objet-plan donnée par une lentille convergente.</p> <p>L'œil, accommodation, défauts et corrections</p> <p>Formation des images sur la rétine ; nécessité de l'accommodation. Punctum proximum et punctum remotum. Défauts de l'œil : myopie, hypermétropie et presbytie. Principe de correction de ces défauts par des lentilles minces ou par modification de la courbure de la cornée ; vergence.</p>	<p>Exploiter les conditions de visibilité d'un objet. Porter un regard critique sur une conception de la vision à partir de l'étude d'un document.</p> <p>Décrire le modèle de l'œil réduit et le mettre en correspondance avec l'œil réel.</p> <p>Reconnaître la nature convergente ou divergente d'une lentille mince. Représenter symboliquement une lentille mince convergente ou divergente. Déterminer graphiquement la position, la grandeur et le sens de l'image d'un objet-plan donnée par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser l'accommodation du cristallin. Reconnaître la nature du défaut d'un œil à partir des domaines de vision et inversement. Associer à chaque défaut un ou plusieurs modes de correction possibles. Exploiter la relation liant la vergence et la distance focale.</p>

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
<p>Acquis du collège : propagation rectiligne de la lumière, modèle du rayon lumineux, vision des objets, lentilles, formation des images réelles.</p> <p>Des photorécepteurs au cortex visuel La vision du monde dépend des propriétés des photorécepteurs de la rétine. L'étude comparée des pigments rétinien permet de placer l'Homme parmi les Primates.</p> <p>Le message nerveux visuel emprunte des voies nerveuses jusqu'au cortex visuel.</p> <p>Aires visuelles et perception visuelle L'imagerie fonctionnelle du cerveau permet d'identifier et d'observer des aires spécialisées dans la reconnaissance des couleurs, ou des formes, ou du mouvement.</p> <p>Aires cérébrales et plasticité La reconnaissance d'un mot écrit nécessite une collaboration entre aires visuelles, mémoire et des structures liées au langage.</p>	<p>Déterminer les rôles des photorécepteurs et de l'organisation anatomique des voies visuelles dans la perception d'une image. Relier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - certaines maladies et certaines anomalies génétiques à des déficiences visuelles ; - certaines caractéristiques de la vision à certaines propriétés et à la répartition des photorécepteurs de la rétine. <p>Justifier la place de l'Homme au sein des Primates à partir de la comparaison des opsines ou des gènes les codant. Expliquer à partir de résultats d'exploration fonctionnelle du cerveau ou d'étude de cas cliniques, la notion de spécialisation fonctionnelle des aires visuelles. Établir les relations entre coopération des aires cérébrales, plasticité des connexions et activité de lecture.</p>
<p>Couleurs et arts Colorants et pigments. Approche historique. Influence d'un ou plusieurs paramètres sur la couleur de certaines espèces chimiques.</p> <p>Synthèse soustractive ; synthèse additive. Application à la peinture et à l'impression couleur.</p> <p>Acquis du collège : lumière blanche composée de lumières colorées, couleur d'un objet, synthèse additive, synthèse d'une espèce chimique. Limites : L'appui sur des maladies et des anomalies n'implique pas une connaissance exhaustive de celles-ci. On n'aborde ni l'organisation détaillée de la rétine ni le fonctionnement des photorécepteurs. On signale simplement l'élaboration globale d'un message nerveux acheminé par le nerf optique. Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive des techniques d'exploration du cerveau, des cas cliniques, des maladies et des anomalies de la vision. On n'étudie ni la localisation relative des aires V1 à V5, ni leurs spécialisations, ni les mécanismes précis de la mémoire ou du langage.</p>	<p>Rechercher et exploiter des informations portant sur les pigments, les colorants et leur utilisation dans le domaine des arts. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la présence de différents colorants dans un mélange. Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence l'influence de certains paramètres sur la couleur d'espèces chimiques.</p> <p>Distinguer synthèses soustractive et additive. Exploiter un cercle chromatique. Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées.</p>

La chimie de la perception

La transmission synaptique

La perception repose sur la transmission de messages nerveux, de nature électrique, entre neurones, au niveau de synapses, par l'intermédiaire de substances chimiques : les neurotransmetteurs.

Les perturbations chimiques de la perception

Certaines substances hallucinogènes perturbent la perception visuelle. Leur action est due à la similitude de leur structure moléculaire avec celle de certains neurotransmetteurs du cerveau auxquels elles se substituent.

Leur consommation entraîne des troubles du fonctionnement général de l'organisme, une forte accoutumance ainsi que des « flash-back » imprévisibles.

Acquis du collège et de la classe de seconde :

Système nerveux, organes sensoriels, récepteur, centres nerveux (moelle épinière, cerveau), nerf sensitif, neurones, altération des récepteurs sensoriels par l'environnement, cerveau, centre d'analyse et lieu de la perception, variation du débit sanguin en fonction de l'activité d'un organe.

Communication au sein d'un réseau de neurones, action de la consommation ou de l'abus de certaines substances sur les récepteurs et les effecteurs.

Limites :

On se contente, à travers l'observation iconographique de vésicules au niveau synaptique, de mettre en évidence l'intervention d'un neurotransmetteur.

L'action du LSD (et éventuellement d'autres drogues) est expliquée au niveau moléculaire.

Le volet « éducation à la santé » doit être développé.

Mettre en évidence la nature chimique de la transmission du message nerveux entre deux neurones par la mise en relation de documents, dont des électrographies.

Expliquer le mode d'action de substances hallucinogènes (ex. : LSD ou « acide ») par la similitude de leur structure moléculaire avec celle de certains neurotransmetteurs du cerveau auxquels elles se substituent.

Expliquer l'action d'une drogue dans la perturbation de la communication nerveuse qu'elle induit et les dangers de sa consommation tant d'un point de vue individuel que sociétal.

Nourrir l'humanité

Une population de neuf milliards d'humains est prévue au XXI^{ème} siècle. Nourrir la population mondiale est un défi majeur qui ne peut être relevé sans intégrer des considérations géopolitiques, socio-économiques et environnementales.

L'élève sera amené à percevoir la complexité des questions qui se posent désormais à chacun, dans sa vie de citoyen, tant au niveau individuel que collectif, et à l'humanité concernant la satisfaction des besoins alimentaires.

Il élaborera quelques éléments de réponses, scientifiquement étayées, à certaines de ces interrogations concernant l'accroissement de la production agricole, la conservation des aliments et leurs transformations. Il prendra conscience que pour obtenir, par l'amélioration des pratiques culturales, une augmentation des rendements et de la productivité agricoles, dans un contexte historique et économique de développement des populations mondiales, il est désormais nécessaire de prendre en compte :

- l'impact sur l'environnement, dont les interactions et les échanges entre les êtres vivants et leurs milieux, et la gestion durable des ressources que représentent le sol et l'eau ;
- les conséquences sur la santé.

Par une approche historique et culturelle, l'élève aborde les processus physiques, chimiques et biologiques de la transformation et de la conservation des aliments. Il acquiert des connaissances qui lui permettent d'adopter des comportements responsables en matière de risque alimentaire.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Vers une agriculture durable au niveau de la planète	
<p>Pratiques alimentaires collectives et perspectives globales L'agriculture repose sur la création et la gestion d'agrosystèmes dans le but de fournir des produits (dont les aliments) nécessaires à l'humanité.</p> <p>Dans un agrosystème, le rendement global de la production par rapport aux consommations de matière et d'énergie conditionne le choix d'une alimentation d'origine animale ou végétale, dans une perspective de développement durable.</p> <p>Une agriculture pour nourrir les Hommes L'exportation de biomasse, la fertilité des sols, la recherche de rendements et l'amélioration qualitative des productions posent le problème :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des apports dans les cultures (engrais, produits phytosanitaires, etc.) ; - des ressources en eau ; - de l'amélioration des races animales et des variétés végétales par la sélection génétique, les manipulations génétiques, le bouturage ou le clonage ; - du coût énergétique et des atteintes portées à l'environnement. <p>Le choix des techniques culturales doit concilier la production, la gestion durable de l'environnement et la santé.</p> <p>Qualité des sols et de l'eau Le sol : milieu d'échanges de matière. Engrais et produits phytosanitaires ; composition chimique.</p>	<p>Comparer la part d'intervention de l'Homme dans le fonctionnement d'un écosystème et d'un agrosystème. Montrer que consommer de la viande ou un produit végétal n'a pas le même impact écologique.</p> <p>Comparer les bilans d'énergie et de matière (dont l'eau) d'un écosystème et de différents agrosystèmes (cultures, élevages), à partir de données prélevées sur le terrain ou dans des bases de données et traitées par des logiciels de calculs ou de simulation. Expliquer, à partir de résultats simples de croisements, le principe de la sélection génétique (« vigueur hybride » et « homogénéité de la F1 »). Relier les progrès de la science et des techniques à leur impact sur l'environnement au cours du temps. Étudier l'impact sur la santé ou l'environnement de certaines pratiques agricoles (conduite d'un élevage ou d'une culture).</p> <p>Exploiter des documents et mettre en œuvre un protocole pour comprendre les interactions entre le sol et une solution ionique en termes d'échanges d'ions. Mettre en œuvre un protocole expérimental pour doser par comparaison une espèce présente dans un engrais ou dans un produit phytosanitaire.</p>

<p>Eau de source, eau minérale, eau du robinet ; composition chimique d'une eau de consommation. Critères physicochimiques de potabilité d'une eau. Traitement des eaux naturelles.</p> <p>Acquis (collège et seconde) : SVT : caractéristiques du milieu et répartition des êtres vivants ; peuplement d'un milieu ; biodiversité ; production alimentaire par l'élevage ou la culture ou par une transformation biologique ; le sol, patrimoine durable ; producteurs ; synthèse de matière organique à la lumière ; biomasse ; gènes ; allèles, ADN ; transgénèse ; reproduction sexuée et unicité des individus.</p> <p>SPC : l'eau dans l'environnement, mélanges aqueux, mélanges homogènes et corps purs, l'eau solvant, formules de quelques ions, protocole de tests de reconnaissance de certains ions.</p> <p>Limites : On se limite à la quantification des flux d'énergie et de matière sans identifier ni expliquer les mécanismes biologiques explicatifs. Aucune exhaustivité n'est attendue dans la connaissance des pratiques de cultures et d'élevages. Les mécanismes cellulaires du bouturage ne sont pas à connaître. Les étapes du clonage et des manipulations génétiques ne sont pas étudiées pour elles-mêmes mais pour leur intérêt en agriculture.</p>	<p>Réaliser une analyse qualitative d'une eau. Rechercher et exploiter des informations concernant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la potabilité d'une eau ; - le traitement des eaux naturelles ; - l'adoucissement d'une eau dure.
Qualité et innocuité des aliments : le contenu de nos assiettes	
<p>Biologie des microorganismes et conservation des aliments Certaines techniques de conservation se fondent sur la connaissance de la biologie des microorganismes, dont certains sont pathogènes, et visent à empêcher leur développement.</p> <p>Conservation des aliments, santé et appétence alimentaire La conservation des aliments permet de reculer la date de péremption tout en préservant leur comestibilité et leurs qualités nutritives et gustatives. Les techniques de conservation peuvent modifier les qualités gustatives et nutritionnelles des aliments et provoquer parfois des troubles physiologiques chez le consommateur.</p> <p>Conservation des aliments Effet du dioxygène de l'air et de la lumière sur certains aliments. Rôle de la lumière et de la température dans</p>	<p>Expliquer à partir de données expérimentales ou documentaires le rôle des conditions physico-chimiques sur le développement de micro-organismes. Expliquer les conseils de conservation donnés aux consommateurs. Identifier les avantages et les inconvénients pour le consommateur de certains traitements appliqués dans le cadre de la conservation des aliments. Utiliser des arguments scientifiques pour confirmer ou infirmer certaines affirmations véhiculées dans les médias ou dans les publicités concernant l'action de certains produits alimentaires sur la santé.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole pour mettre en évidence l'oxydation des aliments.</p> <p>Distinguer une transformation physique d'une</p>

<p>l'oxydation des produits naturels. Conservation des aliments par procédé physique et par procédé chimique.</p> <p>Se nourrir au quotidien : exemple des émulsions Structure simplifiée des lipides. Espèces tensioactives ; partie hydrophile, partie hydrophobe. Formation de micelles.</p> <p>Acquis (collège et seconde) : <i>Transformation biologique : microorganismes, aspect gustatif.</i> <i>Les changements d'état, composition de l'air, les atomes pour comprendre la réaction chimique.</i></p> <p>Limites : <i>Il ne s'agit pas :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - d'établir une liste exhaustive des agents pathogènes, des intoxications alimentaires et des symptômes de ces dernières ; - d'étudier les techniques de conservation des aliments pour elles-mêmes ; - de lister tous les conservateurs et leurs effets supposés sur la santé. 	<p>réaction chimique. Associer un changement d'état à un processus de conservation. Extraire et organiser des informations pour : - rendre compte de l'évolution des modes de conservation des aliments ; - analyser la formulation d'un produit alimentaire.</p> <p>Interpréter le rôle d'une espèce tensioactive dans la stabilisation d'une émulsion. Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence les conditions physicochimiques nécessaires à la réussite d'une émulsion culinaire.</p>
---	---

Féminin/masculin

La prise en charge de façon responsable de sa vie sexuelle par ce futur adulte rend nécessaire de parfaire une éducation à la sexualité qui a commencé au collège.

Ce thème vise à fournir à l'élève des connaissances scientifiques clairement établies, qui ne laissent de place ni aux informations erronées sur le fonctionnement de son corps ni aux préjugés.

Ce sera également l'occasion d'affirmer que si l'identité sexuelle et les rôles sexuels dans la société avec leurs stéréotypes appartiennent à la sphère publique, l'orientation sexuelle fait partie, elle, de la sphère privée.

A l'issue de cet enseignement l'élève devrait être capable d'expliquer :

- à un niveau simple, par des mécanismes hormonaux, les méthodes permettant de choisir le moment de procréer ou d'aider un couple stérile à avoir un enfant ;
- comment un comportement individuel raisonné permet de limiter les risques de contamination et de propagation des infections sexuellement transmissibles (IST) ;
- le déterminisme génétique et hormonal du sexe biologique, et de différencier ainsi identité et orientation sexuelles ;
- que l'activité sexuelle chez l'Homme repose en partie sur des phénomènes biologiques, en particulier l'activation du système de récompense.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Prendre en charge de façon conjointe et responsable sa vie sexuelle	
<p>La connaissance de plus en plus précise des hormones naturelles contrôlant les fonctions de reproduction humaine a permis progressivement la mise au point de molécules de synthèse qui permettent une maîtrise de la procréation de plus en plus adaptée, avec de moins en moins d'effets secondaires.</p> <p>Ces molécules de synthèse sont utilisées dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la contraception régulière (« la pilule ») ; - la contraception d'urgence ; - l'IVG médicamenteuse. <p>Elles sont également utilisées dans les techniques de procréation médicalement assistée (PMA) qui permettent ou facilitent la fécondation et/ou la gestation dans les cas de stérilité ou d'infertilité.</p> <p>Les IST, causes de stérilité, et leur propagation au sein de la population peuvent être évitées par des comportements individuels adaptés.</p> <p>Acquis du collègue : reproduction sexuée, fécondation, nidation, cellules reproductrices (spermatozoïdes, ovules), organes reproducteurs, caractères sexuels secondaires, origine hormonale et caractéristiques de la puberté, règles, ménopause, rapport sexuel, embryon, hormones ovariennes (œstrogènes, progestérone), organe-cible, maîtrise de la reproduction : contraception (chimique ou mécanique), contragestion, interruption de grossesse, effet abortif, PMA.</p> <p>Limites : Seuls les mécanismes régulateurs permettant de comprendre les phénomènes moléculaires des actions contraceptives sont à connaître. Les mécanismes cellulaires d'action des molécules hormonales ne sont pas au programme. Il ne s'agit pas de prendre en compte toutes les</p>	<p>Replacer dans le temps et dans la société la chronologie de l'apparition des méthodes de régulation des naissances.</p> <p>Identifier les modes d'action des molécules de synthèse et les expliquer par les mécanismes biologiques sur lesquels ils se fondent.</p> <p>Expliquer les pratiques médicales chimiques mises en œuvre en cas de déficience de la fertilité du couple.</p> <p>Relier les conseils d'hygiène, de dépistage, de vaccination et d'utilisation du préservatif aux modes de contamination et de propagation des IST.</p> <p>Discuter les limites des méthodes de maîtrise de la procréation en s'appuyant sur la législation, l'éthique et l'état des connaissances médicales.</p>

<p><i>causes de stérilité ni toutes les techniques de procréation médicalement assistée mais de montrer que leurs principes reposent sur des connaissances scientifiques.</i></p> <p><i>Le cadre éthique doit être discuté.</i></p> <p><i>L'étude exhaustive des IST et de leurs agents infectieux n'est pas l'objectif du programme.</i></p> <p><i>Le volet « éducation à la santé » doit être développé.</i></p>	
Devenir homme ou femme	
<p>La mise en place des structures et de la fonctionnalité des appareils sexuels se réalise sur une longue période qui va de la fécondation à la puberté, en passant par le développement embryonnaire et fœtal.</p> <p>Acquis du collège : <i>Chromosomes sexuels, gène, caractères héréditaires, organes reproducteurs, caractères sexuels secondaires, puberté, embryon.</i></p> <p>Limites : <i>On étudie les trois étapes de la différenciation mais :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - le lien entre sexe génétique et sexe phénotypique s'appuie sur des données médicales et non expérimentales ; - on n'entre pas dans le détail des mécanismes montrant l'influence du sexe génétique sur le sexe phénotypique (gène SRY, protéine TDF). 	<p>Caractériser à partir de différentes informations et à différentes échelles un individu de sexe masculin ou de sexe féminin.</p> <p>Expliquer, à partir de données médicales, les étapes de différenciation de l'appareil sexuel au cours du développement embryonnaire.</p> <p>Différencier, à partir de la confrontation de données biologiques et de représentations sociales ce qui relève :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de l'identité sexuelle, des rôles en tant qu'individus sexués et de leurs stéréotypes dans la société, qui relèvent de l'espace social ; - de l'orientation sexuelle qui relève de l'intimité des personnes.
Vivre sa sexualité	
<p>Le comportement sexuel chez les Mammifères est contrôlé, entre autres, par les hormones et le système de récompense.</p> <p>Au cours de l'évolution, l'influence hormonale dans le contrôle du comportement de reproduction diminue, et corrélativement le système de récompense devient prépondérant dans la sexualité de l'Homme et plus généralement des primates hominoïdes.</p> <p>Les facteurs affectifs et cognitifs, et surtout le contexte culturel, ont une influence majeure sur le comportement sexuel humain.</p> <p>Acquis du collège : <i>système nerveux, centres nerveux.</i></p> <p>Limites : <i>on s'en tiendra à une approche descriptive du déterminisme hormonal du comportement sexuel et de l'intervention du système de récompense, sans explication à l'échelle cellulaire ou moléculaire.</i></p>	<p>Établir l'influence des hormones sur le comportement sexuel des Mammifères.</p> <p>Identifier les structures cérébrales qui participent aux processus de récompense à partir de données médicales et expérimentales.</p>

Le défi énergétique

L'exercice de la responsabilité en matière de développement durable repose sur l'analyse des besoins et des contraintes et sur la recherche de solutions nouvelles à court, moyen ou long terme. Pour cela, les sciences expérimentales apportent leur contribution en permettant en particulier de comprendre qu'aucun développement ne sera durable s'il ne recherche, entre autres :

- la disponibilité et la qualité des ressources naturelles ;
- la maîtrise des ressources énergétiques ;
- la gestion des aléas et risques naturels et/ou industriels ;
- l'optimisation de la gestion de l'énergie.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Activités humaines et besoins en énergie	
Besoins énergétiques engendrés par les activités humaines : industries, transports, usages domestiques. Quantification de ces besoins : puissance, énergie.	Exploiter des documents et/ou des illustrations expérimentales pour mettre en évidence différentes formes d'énergie. Connaître et utiliser la relation liant puissance et énergie. Rechercher et exploiter des informations sur des appareils de la vie courante et sur des installations industrielles pour porter un regard critique sur leur consommation énergétique et pour appréhender des ordres de grandeur de puissance.
Utilisation des ressources énergétiques disponibles	
Ressources énergétiques et durées caractéristiques associées (durée de formation et durée estimée d'exploitation des réserves). Ressources non renouvelables : - fossiles (charbon, pétroles et gaz naturels) ; - fissiles (Uranium : isotopes, $^{235}_{92}\text{U}$: isotope fissile). Ressources renouvelables. Le Soleil, source de rayonnement.	Rechercher et exploiter des informations pour : - associer des durées caractéristiques à différentes ressources énergétiques ; - distinguer des ressources d'énergie renouvelables et non renouvelables ; - identifier des problématiques d'utilisation de ces ressources. Mettre en œuvre un protocole pour séparer les constituants d'un mélange de deux liquides par distillation fractionnée. Utiliser la représentation symbolique ^A_ZX pour distinguer des isotopes.
Conversion d'énergie.	Schématiser une chaîne énergétique pour interpréter les transformations d'énergie en termes de conversion et de dégradation.
Centrale électrique thermique à combustible fossile ou nucléaire. Réaction de combustion. Réaction de fission. Réaction de fusion. Le Soleil, siège de réactions de fusion nucléaire. Exploitation des ressources renouvelables.	Identifier les différentes formes d'énergie intervenant dans une centrale thermique à combustible fossile ou nucléaire. Interpréter l'équation d'une réaction nucléaire en utilisant la notation symbolique du noyau ^A_ZX . À partir d'exemples donnés d'équations de réactions nucléaires, distinguer fission et fusion. Exploiter les informations d'un document pour comparer : - les énergies mises en jeu dans des réactions nucléaires et dans des réactions chimiques ; - l'utilisation de différentes ressources énergétiques.

Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie

Transport et stockage de l'énergie.
 Accumulateur électrochimique et pile à combustible.
 Sous-produits de l'industrie nucléaire. Décroissance radioactive.
 Effet de serre.

Rechercher et exploiter des informations pour comprendre :
 - la nécessité de stocker et de transporter l'énergie ;
 - l'utilisation de l'électricité comme mode de transfert de l'énergie ;
 - la problématique de la gestion des déchets radioactifs.
 Analyser une courbe de décroissance radioactive.
 Faire preuve d'esprit critique : discuter des avantages et des inconvénients de l'exploitation d'une ressource énergétique, y compris en terme d'empreinte environnementale.

Les acquis du collège : les changements d'état de l'eau, les combustions, les atomes pour comprendre la réaction chimique, pile électrochimique et énergie chimique, l'alternateur, tension alternative, puissance et énergie électriques.

Annexe

PHYSIQUE-CHIMIE

CLASSE DE PREMIÈRE DE LA SÉRIE SCIENTIFIQUE

Préambule du cycle terminal

Objectifs

L'enseignement des sciences physiques et chimiques contribue à la construction d'une culture scientifique et citoyenne indispensable à une époque où l'activité scientifique et le développement technologique imprègnent notre vie quotidienne et les choix de société. L'activité expérimentale permet notamment de poursuivre l'éducation de l'élève à la sécurité, à l'évaluation des risques, à la surveillance et à la protection de l'environnement, au développement durable.

De nos jours, l'enseignement de la physique et de la chimie participe à poser les bases de comportements sociétaux responsables qui fondent la possibilité du vivre ensemble. En effet, la règle de droit peut être amenée à s'appuyer sur des normes quantitatives communes (seuils, plafonds, valeurs de références, etc.) et la mesure des écarts à ces normes en définit les modalités de validation. Le respect des autres et de soi est au fondement de la culture de la responsabilité.

En classe de seconde, la présentation des programmes sous forme de thèmes : santé, pratique sportive, Univers, a été retenue pour prendre en compte la diversité des publics accueillis.

Au cycle terminal de la série S, les élèves ayant fait le choix d'une orientation scientifique, le programme a pour ambition de développer leur vocation pour la science et de les préparer à des études scientifiques post-baccalauréat. La discipline, avec ses contenus et ses méthodes, se met au service de cette ambition en se fondant sur les atouts qui lui sont propres : son rapport privilégié au réel, qu'elle englobe et pénètre au plus loin, son rôle dans la structuration des esprits, son importance dans l'appréhension et la relève des défis posés à l'Homme par l'évolution du monde et de la société.

La série S : la discipline au service des compétences et des appétences de science

L'enseignement des sciences physiques et chimiques de la série S n'est pas tourné en premier lieu vers la discipline, mais vers les élèves, afin de susciter et consolider des vocations pour que le plus grand nombre se dirige vers des carrières scientifiques et techniques.

Le questionnaire premier n'est donc pas : « S'ils veulent poursuivre des études scientifiques, qu'est-ce que les bacheliers S doivent savoir ? », mais plutôt : « Ont-ils acquis les compétences de base de la démarche scientifique ? » sans lesquelles il n'est point de vocation assortie de réussite. Et pour tous les élèves de cette série, quel que soit leur métier futur : « Ont-ils développé suffisamment le goût des sciences pour percevoir leur importance dans la société ? ».

Il ne saurait en découler un affadissement de la discipline, alors qu'elle se mettrait au service de cet objectif double, celui des compétences et des appétences, mais au contraire une légitimité supérieure, au-delà de sa propre construction, en donnant sens et pertinence à ses objectifs, méthodes et contenus en direction des élèves et plus largement de la société.

Partant de cette problématique globale, l'enseignement de la physique-chimie au cycle terminal permet la construction progressive et la mobilisation du corpus de connaissances et de méthodes scientifiques de base de la discipline, en s'organisant autour des grandes étapes de la démarche scientifique : **l'observation, la modélisation, et l'action sur le réel**, tout en recherchant l'adhésion et l'intérêt des élèves par des **entrées et des questionnements**

contextualisés et modernes.

Pour cela, l'enseignement du cycle terminal prolonge les différents aspects de l'initiation aux sciences physiques et chimiques abordée en seconde, en approfondissant les compétences développées au travers des modalités de mise en œuvre : la démarche scientifique, l'approche expérimentale, la mise en perspective historique, le lien avec les autres disciplines, l'usage des Tic.

En classe de seconde, la liberté pédagogique du professeur s'incarne dans une logique thématique propre à éclairer les choix d'orientation des élèves. Au cycle terminal, elle s'inscrit dans la possibilité de choisir le niveau d'entrée au sein de la démarche scientifique globale sous-tendant l'articulation du programme. Le professeur peut ainsi trouver l'accroche la plus à même de consolider l'orientation scientifique de ses élèves en les initiant aux subtilités et à la pluralité de l'approche du réel. Cette liberté, tournée vers la méthode et qui affranchit d'une lecture séquentielle du programme, rend également plus faciles les réorientations des élèves entre les différentes séries.

Modalités

La démarche scientifique

La science est un mode de pensée qui s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficaces, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale. Contrairement à la pensée dogmatique, la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps. Initier l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des **compétences** - en gras dans le texte ci-dessous - autour des trois grandes étapes que sont l'observation, la modélisation et l'action qui le rendent capable de **mettre en œuvre un**

raisonnement pour identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique.

Il doit pour cela pouvoir **mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes**. Il lui faut également **raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe**.

Ces compétences sont indissociables de compétences mathématiques de base. De plus, en devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières, orales et écrites, dans la langue française, mais aussi en langue étrangère, notamment en anglais, langue de communication internationale dans le domaine scientifique.

En permettant le débat argumenté, le travail en équipe est propice à la construction de ces compétences.

Dans la continuité du collège et de la seconde, la démarche d'investigation s'inscrit dans cette logique pédagogique.

L'approche expérimentale

Composantes naturelles et privilégiées de la démarche scientifique, les activités expérimentales jouent un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Elles établissent un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures - toujours entachées d'erreurs aléatoires ou systématiques - ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La recherche de la plus grande précision possible dans le contexte des activités expérimentales est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Il faut rappeler à ce titre l'importance du rôle de la précision des mesures dans le progrès scientifique. L'histoire des sciences en fournit de nombreuses illustrations : le degré de précision des observations de Mars par Tycho-Brahé a permis à Kepler d'établir ses lois.

Les activités expérimentales peuvent s'articuler autour de deux pôles distincts : l'expérience de cours, qui permet un rapport premier entre le réel et sa représentation ; les activités expérimentales menées par les élèves, moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi des notions et des concepts.

Associée à un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique, l'activité expérimentale, menée dans l'environnement du laboratoire, contribue à la formation de l'esprit scientifique et permet l'acquisition de compétences spécifiques. En effet, l'activité expérimentale conduit l'élève à **analyser** la situation-problème qui lui est proposée, à **s'approprier** la problématique du travail à effectuer, à justifier ou à proposer un protocole comportant des expériences, puis à le **réaliser**. L'activité expérimentale l'amène à confronter ses représentations avec la réalité, à porter un jugement critique sur la pertinence des résultats obtenus et des hypothèses faites dans la perspective de les **valider**. Pour cela il doit faire les schématisations et les observations, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre **autonome** et apte à prendre des **initiatives** et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents. Elle est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une expérimentation authentique et sûre.

L'apprentissage de la rigueur et de la plus grande exactitude est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie.

La mise en perspective historique

La science a été élaborée par des hommes et des femmes vivant dans un contexte temporel, géographique et sociétal donné. En remettant en cause les conceptions du monde et la place de l'Homme, son progrès s'est souvent heurté aux conservatismes, aux traditions, aux arguments d'autorité, aux obscurantismes de toutes sortes. En ce sens, faire connaître à l'élève l'histoire de la construction de la connaissance scientifique est source d'inspiration pour la liberté intellectuelle, l'esprit critique et la volonté de persévérer. Elle est également une école d'humilité et de patience dans la mesure où cette histoire s'est accompagnée d'un impressionnant cortège d'hypothèses fausses, de notions erronées autant que de controverses passionnées.

L'approche historique montre que la science moderne, qui transcende les différences culturelles, est universelle et qu'elle est désormais le bien de l'humanité tout entière.

Sans tomber dans la systématisation, l'enseignant peut utiliser l'approche historique comme démarche didactique destinée à mettre la science en contexte et en culture. Cette approche montre en outre l'obstacle épistémologique opposé à la connaissance par les apparences sensibles, qui se retrouve dans les blocages créés par les représentations a priori des élèves. Ceux-ci peuvent en retour être rassurés par le spectacle des erreurs commises par de grands esprits tout au long de l'histoire de la pensée scientifique.

L'histoire des sciences montre également la diversité de la démarche scientifique, qui ne se réduit pas à une progression séquentielle : observation - modélisation - vérification (ou réfutation), illustrée par la démarche d'investigation, qui est d'essence pédagogique. La réalité historique est beaucoup plus complexe. La plus grande révolution dans l'histoire de la pensée, l'hypothèse copernicienne, n'a pas été avancée pour des raisons liées aux observations du temps, qui trouvaient une explication apparemment plus naturelle dans la cosmogonie aristotélicienne. La validation n'est venue que plus de deux cents ans après, avec la découverte du petit mouvement parallactique des étoiles grâce au progrès technique réalisé dans les instruments d'observation.

Le choix laissé au professeur de l'entrée dans le corps du programme est illustratif de cette pluralité des approches du réel qui est au cœur de la démarche scientifique.

Le lien avec les autres disciplines

De même que l'étude efficiente et contextualisée du réel nécessite les apports croisés des différents domaines concernés de la connaissance, les grands défis auxquels nos sociétés sont confrontées exigent une approche scientifique et culturelle globale. Il convient donc de rechercher les liens entre les sciences physiques et chimiques et les autres disciplines.

La liaison avec les mathématiques est évidente et nécessaire, car elle sous-tend le caractère par définition quantitatif des sciences expérimentales et la formalisation qui leur confère l'universalité. Les mathématiques peuvent à l'inverse trouver matière à application dans l'étude de situations réelles

Les sciences de la vie et de la Terre, qui ont abondamment recours aux concepts et résultats des sciences physiques et chimiques, fournissent à ces dernières un terrain propice à illustration et réinvestissement.

Il en est de même avec les sciences et techniques industrielles, dans cette synergie féconde entre progrès technologique et progrès scientifique.

La relation peut être tout aussi fructueuse avec bien d'autres disciplines : les lettres, l'anglais (communication internationale et recherche documentaire) mais aussi l'histoire-géographie (histoire des sciences et des idées, développement de leurs applications), la philosophie (épistémologie), l'éducation physique et sportive (mesure et analyse des performances), etc.

Aucune discipline ne saurait être exclue a priori de la coopération interdisciplinaire avec la physique et la chimie. Ainsi, les sciences physiques et chimiques apportent également leur contribution à l'enseignement de l'histoire des arts en soulignant les relations entre l'art, la science et la technique, notamment dans les rapports de l'art avec l'innovation et la démarche scientifiques, l'analyse et la restauration des œuvres ou dans le discours tenu par l'art sur les sciences et les techniques. En retour, les arts peuvent fournir des objets d'étude motivants pour les élèves. La coopération interdisciplinaire amène un nouveau rapport pédagogique à la connaissance, qui peut permettre ultérieurement à chacun d'agir de façon éclairée dans sa vie courante ou l'exercice de sa profession.

L'usage adapté des technologies de l'information et de la communication (Tic)

La physique et la chimie fournissent naturellement l'occasion d'acquérir des compétences dans l'utilisation des Tic, dont certaines sont liées à la discipline et d'autres d'une valeur plus générale.

Outre la recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique, qui requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'internet, la mise en relation de classes effectuant une même recherche documentaire ainsi que la comparaison de mesures effectuées dans des établissements différents sont rendues possibles par les Tic.

L'activité expérimentale peut s'appuyer avec profit sur elles : expérimentation assistée par ordinateur, saisie et traitement des mesures. La simulation est l'une des modalités de pratique de la démarche scientifique susceptible d'être utilisée.

L'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales peut ainsi permettre de dégager du temps pour la réflexion, en l'ouvrant aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience.

L'usage de caméras numériques, de dispositifs de projection, de tableaux interactifs et de logiciels généralistes ou spécialisés doit être encouragé.

Les travaux pédagogiques et les réalisations d'élèves gagneront à s'insérer dans le cadre d'un environnement numérique de travail (ENT), au cours ou en dehors des séances.

Il faudra toutefois veiller à ce que l'usage des Tic comme auxiliaire de l'activité didactique ne se substitue pas à une activité expérimentale directe et authentique.

Outre les sites ministériels, les sites académiques recensent des travaux de groupes nationaux, des ressources thématiques ([Édubases](#)), des adresses utiles.

Architecture des programmes du cycle terminal

Les programmes de première et de terminale de la série scientifique s'articulent autour des grandes phases de la démarche scientifique : **observer**, **comprendre**, **agir**, et s'appuient sur des entrées porteuses et modernes.

Observer : l'Homme reçoit du monde matériel un ensemble d'informations sous forme d'énergie transportée par des ondes et des particules. La lumière en constitue la forme la plus immédiate et répandue, l'œil le premier instrument, la vision la première sensation, avec les images et leurs couleurs. Ce premier abord de la réalité montre déjà qu'il n'existe pas d'observation a priori, sans un cadre conceptuel qui lui donne sens, ni un instrument de réception et d'analyse. Dans cette partie du programme centrée sur le recueil des informations, la démarche scientifique montre déjà sa globalité et sa subtilité.

Comprendre : en s'appuyant sur le langage des mathématiques qui donne accès au formel et au quantitatif, la science expérimentale peut accéder à l'universel et au réinvestissement à partir de phénomènes particuliers. Cette partie du programme, centrée sur l'interprétation et la modélisation, montre que l'universalité peut s'expliquer en l'état actuel des connaissances par l'existence d'interactions fondamentales, responsables de la cohésion, des transformations et des mouvements, à toutes échelles, de la matière connue. À chacune de ces interactions est associée une forme d'énergie. L'application du principe de la conservation de l'énergie montre une des facettes de la démarche scientifique, tenue de partir de postulats fondateurs, dont la validité doit être légitimée par le retour au réel.

Agir : les moyens théoriques et technologiques que l'Homme se donne, outre qu'ils permettent de tester la fiabilité des modèles scientifiques et d'agrandir sans cesse le champ d'investigation du réel, lui offrent des réponses aux défis qu'il doit relever pour assurer le bien-être et le bien-vivre de tous dans le respect et la préservation de l'environnement. Cette partie du programme doit conduire le professeur à choisir des exemples d'application de la physique et de la chimie qui répondent à ces enjeux posés au devenir de l'Humanité et à la planète. Elle doit également montrer que les réponses résident dans la capacité de créer et d'innover qui est au cœur de l'activité scientifique. Elle doit donc à ce titre laisser un espace de liberté au professeur pour illustrer cette capacité avec ses élèves.

Cette liberté pédagogique permet par ailleurs au professeur de choisir ses progressions, ses niveaux d'entrée et ses exemples pour présenter les différents contenus et notions du programme.

Classe de première de la série scientifique

Présentation

Comme première partie du programme du cycle terminal, le programme de la première S se veut une introduction à l'objectif de formation à la démarche scientifique, tout en présentant la souplesse nécessaire aux réorientations entre les séries. Ces choix, ajoutés à la volonté d'encourager la liberté pédagogique des enseignants, ont entraîné une rédaction volontairement allégée des contenus, notions et compétences attendues.

Les professeurs, en revanche, s'ils souhaitent bénéficier de ressources didactiques, de situations et de questionnements, peuvent se reporter aux sites ministériels sur Eduscol où ils trouveront des ressources pour la classe, qui n'ont cependant pas de valeur prescriptive.

Il conviendra par ailleurs qu'ils s'appuient au mieux sur les acquis du programme de seconde.

Pour ce qui est de l'organisation du programme, les orientations thématiques introduites à partir de questionnements sont les suivantes :

- Observer : couleurs et images

La partie « observation » est effectivement réservée à la partie visible du spectre électromagnétique, qui constitue la source des phénomènes physiques les plus immédiatement perceptibles.

La couleur est en premier lieu pour l'Homme un phénomène d'origine physiologique lié à l'œil, ce qui justifie l'abord du thème : « couleur, vision, image ».

L'étude des sources de lumière permet une explication physique de la couleur. C'est le thème « sources de lumière colorée ».

Empiriquement d'abord, plus rationnellement ensuite, l'Homme a appris à isoler puis à créer des « matières colorées », troisième thème de cette partie.

Le professeur traite les trois thèmes dans l'ordre de son choix, attendu que la démarche scientifique est à l'œuvre entre les trois ou au sein de chacun d'eux. Le professeur peut aussi choisir de faire un « détour » par les autres parties « Comprendre » et « Agir », par exemple dans une succession : matières colorées - transformations de la matière (réactions chimiques) - synthèse de molécules, fabrication de nouveaux matériaux.

- Comprendre : lois et modèles

À tous ses niveaux d'organisation, la matière manifeste une cohésion fondée sur l'existence d'interactions fondamentales dont les propriétés expliquent cette stabilité des structures, des états physiques et des édifices chimiques à différentes échelles d'organisation de la matière, des particules subatomiques aux amas de galaxies. Cette stabilité cesse en raison des échanges et des transformations d'énergie responsables des changements d'état, des réactions nucléaires et des réactions chimiques.

À ces interactions peuvent être associés des champs et des forces.

Au sein de tous ces phénomènes est présente cette grandeur essentielle des sciences physiques et chimiques et seulement perceptible par ses effets, l'énergie. Dans le cadre de l'étude d'un réel en perpétuelle évolution, l'affirmation du principe de conservation de l'énergie s'avère un outil puissant et universel d'explication des phénomènes, d'anticipation et de découvertes.

Le professeur exerce sa liberté pédagogique en traitant cette partie du programme, dédiée à la modélisation conceptuelle, dans l'ordre des thèmes de son choix : à partir du principe de conservation de l'énergie ou pour y aboutir ; à partir des observations pour en déduire l'existence des interactions, ou l'inverse, etc.

- Agir : défis du XXI^{ème} siècle

L'histoire des sociétés montre que la science a acquis « droit de cité » lorsqu'elle a donné aux faits techniques établis de façon empirique une base conceptuelle universelle permettant de comprendre ces faits, d'en formaliser la théorie pour la réinvestir de façon efficiente.

L'activité scientifique et ses applications technologiques s'avèrent être des réponses appropriées à des défis posés à l'Homme comme transformer l'énergie et économiser les ressources, synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux, thèmes retenus pour la 1^{ère} S.

Le thème « Créer et innover » est un espace de liberté pour le professeur, qui peut choisir un ou deux sujets d'étude en raison de l'intérêt que ses élèves et lui-même y trouvent, des ressources locales, de l'actualité scientifique, de l'opportunité de découvrir certains métiers de la recherche, ou de la possibilité de participer à des actions de

promotion de la culture scientifique et technique. À ce titre, le professeur peut trouver des exemples d'actions spécifiques en ce domaine dans celles du dispositif ministériel « Sciences à l'École ».

Ainsi, la partie : « Agir - Défis du XXIème siècle » conduit l'élève à percevoir les tendances actuelles de la recherche et du progrès scientifique.

Ce programme est présenté en deux colonnes intitulées :

- **Notions et contenus** : il s'agit des concepts à étudier.

- **Compétences attendues** : il s'agit de connaissances à mobiliser, de capacités à mettre en œuvre et d'attitudes à acquérir et dont la maîtrise est attendue en fin d'année scolaire. Lorsqu'elles sont écrites en italique, ces compétences sont de nature expérimentale.

Le professeur peut aussi bien avoir une lecture horizontale de son choix de progression thématique (dans une même partie) que verticale (par succession de thèmes appartenant à des parties différentes). **La liberté de l'enseignant, traduction sur le plan pédagogique de la liberté intellectuelle du chercheur, doit être révélatrice pour les élèves de l'esprit de la démarche scientifique.**

Annexe
PROGRAMME

OBSERVER Couleurs et images <i>Comment l'œil fonctionne-t-il ? D'où vient la lumière colorée ? Comment créer de la couleur ?</i>	
Notions et contenus	Compétences attendues
Couleur, vision et image	
<p>L'œil ; modèle de l'œil réduit.</p> <p>Lentilles minces convergentes : images réelle et virtuelle.</p> <p>Distance focale, vergence.</p> <p>Relation de conjugaison ; grandissement.</p> <p>Accommodation.</p> <p>Fonctionnements comparés de l'œil et d'un appareil photographique.</p> <p>Couleur des objets.</p> <p>Synthèse additive, synthèse soustractive.</p> <p>Absorption, diffusion, transmission.</p> <p>Vision des couleurs et trichromie. Daltonisme.</p> <p>Principe de la restitution des couleurs par un écran plat (ordinateur, téléphone portable, etc.).</p>	<p>Décrire le modèle de l'œil réduit et le mettre en correspondance avec l'œil réel.</p> <p>Déterminer graphiquement la position, la grandeur et le sens de l'image d'un objet-plan donnée par une lentille convergente.</p> <p><i>Modéliser le comportement d'une lentille mince convergente à partir d'une série de mesures.</i></p> <p>Utiliser les relations de conjugaison et de grandissement d'une lentille mince convergente.</p> <p>Modéliser l'accommodation du cristallin.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour comparer les fonctionnements optiques de l'œil et de l'appareil photographique.</i></p> <p>Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission.</p> <p>Utiliser les notions de couleur blanche et de couleurs complémentaires.</p> <p>Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et comprendre les notions de couleurs des objets.</i></p> <p>Distinguer couleur perçue et couleur spectrale.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur le principe de restitution des couleurs par un écran plat.</p>
Sources de lumière colorée	
<p>Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, DEL, etc.</p> <p>Domaines des ondes électromagnétiques.</p> <p>Couleur des corps chauffés. Loi de Wien.</p> <p>Interaction lumière-matière : émission et absorption.</p> <p>Quantification des niveaux d'énergie de la matière.</p> <p>Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon.</p> <p>Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie.</p> <p>Spectre solaire.</p>	<p>Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide.</p> <p>Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets.</p> <p>Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et de comprendre la notion de lumière colorée.</i></p> <p>Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.</p> <p>Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.</p> <p>Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.</p>

Matières colorées	
<p>Synthèse soustractive.</p> <p>Colorants, pigments ; extraction et synthèse.</p> <p>Réaction chimique : réactif limitant, stœchiométrie, notion d'avancement.</p> <p>Dosage de solutions colorées par étalonnage. Loi de Beer-Lambert.</p>	<p>Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées. <i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre une extraction, une synthèse, une chromatographie.</i></p> <p>Identifier le réactif limitant, décrire quantitativement l'état final d'un système chimique.</p> <p>Interpréter en fonction des conditions initiales la couleur à l'état final d'une solution siège d'une réaction chimique mettant en jeu un réactif ou un produit coloré. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce colorée à partir d'une courbe d'étalonnage en utilisant la loi de Beer-Lambert.</i></p>
<p>Molécules organiques colorées : structures moléculaires, molécules à liaisons conjuguées.</p> <p>Indicateurs colorés.</p> <p>Liaison covalente. Formules de Lewis ; géométrie des molécules. Rôle des doublets non liants. Isomérie Z/E.</p>	<p>Savoir que les molécules de la chimie organique sont constituées principalement des éléments C et H. Reconnaître si deux doubles liaisons sont en position conjuguée dans une chaîne carbonée. Établir un lien entre la structure moléculaire et le caractère coloré ou non coloré d'une molécule.</p> <p><i>Repérer expérimentalement des paramètres influençant la couleur d'une substance (pH, solvant, etc.).</i></p> <p>Décrire à l'aide des règles du « duet » et de l'octet les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H) avec les atomes voisins. Interpréter la représentation de Lewis de quelques molécules simples. Mettre en relation la formule de Lewis et la géométrie de quelques molécules simples. Prévoir si une molécule présente une isomérie Z/E. Savoir que l'isomérisation photochimique d'une double liaison est à l'origine du processus de la vision. <i>Mettre en œuvre le protocole d'une réaction photochimique.</i> <i>Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de modélisation.</i></p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur les colorants, leur utilisation dans différents domaines, et les méthodes de détermination des structures (molécules photochromes, indicateurs colorés, peintures, etc.).</p>

COMPRENDRE Lois et modèles <i>Quelles sont les causes physiques à l'œuvre dans l'Univers ? Quelles interactions expliquent à la fois les stabilités et les évolutions physiques et chimiques de la matière ? Quels modèles utilise-t-on pour les décrire ? Quelles énergies leur sont associées ?</i>	
Notions et contenus	Compétences attendues
Cohésion et transformations de la matière	
<p>La matière à différentes échelles : du noyau à la galaxie.</p> <p>Particules élémentaires : électrons, neutrons, protons.</p> <p>Charge élémentaire e.</p> <p>Interactions fondamentales : interactions forte et faible, électromagnétique, gravitationnelle.</p> <p>Cohésion du noyau, stabilité.</p> <p>Radioactivité naturelle et artificielle. Activité.</p> <p>Réactions de fission et de fusion.</p> <p>Lois de conservation dans les réactions nucléaires.</p> <p>Défaut de masse, énergie libérée.</p> <p>Réactions nucléaires et aspects énergétiques associés.</p> <p>Ordre de grandeur des énergies mises en jeu.</p> <p>Solide ionique. Interaction électrostatique ; loi de Coulomb.</p> <p>Solide moléculaire. Interaction de Van der Waals, liaison hydrogène.</p> <p>Électronégativité.</p> <p>Effet du caractère polaire d'un solvant lors d'une dissolution.</p> <p>Conservation de la matière lors d'une dissolution.</p> <p>Variation de température et transformation physique d'un système par transfert thermique.</p> <p>Nomenclature des alcanes et des alcools ; formule semi-développée.</p> <p>Lien entre les températures de changement d'état et la structure moléculaire dans le cas de l'eau, des alcools et des alcanes.</p> <p>Miscibilité des alcools avec l'eau.</p> <p>Réactions chimiques et aspects énergétiques associés : énergie libérée lors de la combustion d'un hydrocarbure ou d'un alcool ; ordres de grandeur.</p>	<p>Connaître les ordres de grandeur des dimensions des différentes structures des édifices organisés.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon et de l'électron.</p> <p>Savoir que toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e.</p> <p>Associer, à chaque édifice organisé, la ou les interactions fondamentales prédominantes.</p> <p>Utiliser la représentation symbolique A_ZX ; définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur la découverte de la radioactivité naturelle et de la radioactivité artificielle.</p> <p>Connaître la définition et des ordres de grandeur de l'activité exprimée en becquerel.</p> <p>Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire.</p> <p>Utiliser la relation $E_{\text{libérée}} = \Delta m c^2$.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur les réactions nucléaires (domaine médical, domaine énergétique, domaine astronomique, etc.).</p> <p>Interpréter la cohésion des solides ioniques et moléculaires.</p> <p><i>Réaliser et interpréter des expériences simples d'électrisation.</i></p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur les applications de la structure de certaines molécules (super absorbants, tensioactifs, alginates, etc.).</p> <p>Prévoir si un solvant est polaire.</p> <p>Écrire l'équation de la réaction associée à la dissolution dans l'eau d'un solide ionique.</p> <p>Savoir qu'une solution est électriquement neutre.</p> <p><i>Élaborer et réaliser un protocole de préparation d'une solution ionique de concentration donnée en ions.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre un protocole pour extraire une espèce chimique d'un solvant.</i></p> <p>Interpréter à l'échelle microscopique les aspects énergétiques d'une variation de température et d'un changement d'état.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mesurer une énergie de changement d'état.</i></p> <p>Reconnaître une chaîne carbonée linéaire, ramifiée ou cyclique. Nommer un alcane et un alcool.</p> <p>Donner les formules semi-développées correspondant à une formule brute donnée dans le cas de molécules simples.</p> <p>Interpréter :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'évolution des températures de changement d'état au sein d'une famille de composés ; - les différences de température de changement d'état entre les alcanes et les alcools ; - la plus ou moins grande miscibilité des alcools avec l'eau. <p><i>Réaliser une distillation fractionnée.</i></p> <p>Écrire une équation de combustion.</p> <p><i>Mettre en œuvre un protocole pour estimer la valeur de l'énergie libérée lors d'une combustion.</i></p>

Champs et forces	
<p>Exemples de champs scalaires et vectoriels : pression, température, vitesse dans un fluide.</p> <p>Champ magnétique : sources de champ magnétique (Terre, aimant, courant).</p> <p>Champ électrostatique : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$</p> <p>Champ de pesanteur local : $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$</p> <p>Loi de la gravitation ; champ de gravitation. Lien entre le champ de gravitation et le champ de pesanteur.</p>	<p>Recueillir et exploiter des informations (météorologie, téléphone portable, etc.) sur un phénomène pour avoir une première approche de la notion de champ. Décrire le champ associé à des propriétés physiques qui se manifestent en un point de l'espace. Comprendre comment la notion de champ a émergé historiquement d'observations expérimentales. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour cartographier un champ magnétique ou électrostatique.</i></p> <p>Connaître les caractéristiques : - des lignes de champ vectoriel ; - d'un champ uniforme ; - du champ magnétique terrestre ; - du champ électrostatique dans un condensateur plan ; - du champ de pesanteur local.</p> <p>Identifier localement le champ de pesanteur au champ de gravitation, en première approximation.</p>
Formes et principe de conservation de l'énergie	
<p>Énergie d'un point matériel en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme : énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, conservation ou non conservation de l'énergie mécanique. Frottements ; transferts thermiques ; dissipation d'énergie.</p> <p>Formes d'énergie</p> <p>Principe de conservation de l'énergie. Application à la découverte du neutrino dans la désintégration β.</p>	<p>Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre. <i>Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement.</i></p> <p>Connaître diverses formes d'énergie.</p> <p>Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.</p>

AGIR Défis du XXI ^{ème} siècle <i>En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ?</i>	
Notions et contenus	Compétences attendues
Convertir l'énergie et économiser les ressources	
<p>Ressources énergétiques renouvelables ou non ; durées caractéristiques associées. Transport et stockage de l'énergie ; énergie électrique.</p> <p>Production de l'énergie électrique ; puissance. Conversion d'énergie dans un générateur, un récepteur. Loi d'Ohm. Effet Joule. Notion de rendement de conversion.</p>	<p>Recueillir et exploiter des informations pour identifier des problématiques : - d'utilisation des ressources énergétiques ; - du stockage et du transport de l'énergie. Argumenter en utilisant le vocabulaire scientifique adéquat.</p> <p>Distinguer puissance et énergie. Connaître et utiliser la relation liant puissance et énergie. Connaître et comparer des ordres de grandeur de puissances. Schématiser une chaîne énergétique pour interpréter les conversions d'énergie en termes de conservation, de dégradation.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour :</i> - mettre en évidence l'effet Joule ; - exprimer la tension aux bornes d'un générateur et d'un récepteur en fonction de l'intensité du courant électrique.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations portant sur un système électrique à basse consommation.</p>
<p>Stockage et conversion de l'énergie chimique. Énergie libérée lors de la combustion d'un hydrocarbure ou d'un alcool.</p> <p>Piles salines, piles alcalines, piles à combustible. Accumulateurs. Polarité des électrodes, réactions aux électrodes.</p> <p>Oxydant, réducteur, couple oxydant/réducteur, réaction d'oxydo-réduction. Modèle par transfert d'électrons.</p>	<p>Recueillir et exploiter des informations sur le stockage et la conversion d'énergie chimique. Écrire une équation de combustion. Argumenter sur l'impact environnemental des transformations mises en jeu. Déterminer l'ordre de grandeur de la masse de CO₂ produit lors du déplacement d'un véhicule.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour réaliser une pile et modéliser son fonctionnement. Relier la polarité de la pile aux réactions mises en jeu aux électrodes.</i></p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur les piles ou les accumulateurs dans la perspective du défi énergétique. Reconnaître l'oxydant et le réducteur dans un couple. Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en utilisant les demi-équations redox.</p>

Synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux	
<p>Nanochimie.</p> <p>Synthèse ou hémisynthèse de molécules complexes, biologiquement actives.</p> <p>Alcools, aldéhydes, cétones : nomenclature, oxydations.</p> <p>Acides carboxyliques : nomenclature, caractère acide, solubilité et pH. Obtention d'un acide carboxylique ou d'une cétone ; rendement d'une synthèse.</p> <p>Synthèses et propriétés de matériaux amorphes (verres), de matériaux organisés (solides cristallins, céramiques) et de matières plastiques.</p>	<p>Recueillir et exploiter des informations sur un aspect de la nanochimie (nanotubes de carbone, nanomédicaments, nanoparticules métalliques, etc.).</p> <p>Recueillir et exploiter des informations sur une synthèse d'une molécule biologiquement active en identifiant les groupes caractéristiques.</p> <p>Nommer des alcools, aldéhydes, cétones et acides carboxyliques. Reconnaître la classe d'un alcool. Écrire l'équation de la réaction d'oxydation d'un alcool et d'un aldéhyde.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - extraire un acide carboxylique d'un mélange ; - oxyder un alcool ou un aldéhyde ; - mettre en évidence par des tests caractéristiques ou une CCM un ou des produits issus de l'oxydation d'un alcool ; - déterminer la valeur du rendement d'une synthèse. <p><i>Réaliser une extraction par solvant, un chauffage à reflux, une filtration sous vide, une CCM, une distillation en justifiant du choix du matériel à utiliser.</i> Argumenter à propos d'une synthèse en utilisant des données physico-chimiques et de sécurité.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations pour relier les propriétés physiques d'un matériau à sa structure microscopique.</p>
Créer et innover	
<p>Culture scientifique et technique ; relation science-société. Métiers de l'activité scientifique (partenariat avec une institution de recherche, une entreprise, etc.).</p>	<p>Réinvestir la démarche scientifique sur des projets de classe ou de groupes.</p> <p>Comprendre les interactions entre la science et la société sur quelques exemples. Communiquer sur la science par exemple en participant à des actions de promotion de la culture scientifique et technique. Recueillir et exploiter des informations sur l'actualité scientifique et technologique, sur des métiers ou des formations scientifiques et techniques en lien avec des ressources locales.</p>

Annexe**Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie****Classe terminale de la série scientifique****ENSEIGNEMENT SPÉCIFIQUE****Présentation**

Dans une société où des informations de tous ordres arrivent dans l'immédiateté et de toutes parts, la priorité est donnée à la formation des esprits pour transformer cette information en une connaissance. L'enseignant doit être un accompagnateur de chaque élève dans l'acquisition de compétences qui ne peuvent être opérationnelles sans connaissances, qui sont à la fois la base et l'objectif de la didactique, notamment scientifique. Formation des esprits et acquisition de connaissances sont deux facettes indissociables de l'activité éducative.

Ainsi le programme de physique-chimie de terminale S se situe dans le prolongement de celui de première S en approfondissant la formation à la démarche scientifique. Il permet de mieux installer les compétences déjà rencontrées, de les compléter et de faire acquérir des connaissances nouvelles.

Comme pour la première S, une rédaction volontairement allégée des contenus, notions et compétences a été privilégiée, sans pour autant altérer la lisibilité et la précision des exigences telles qu'elles sont attendues en fin d'année scolaire et exigibles pour le baccalauréat.

Deux compétences occupent une place centrale en terminale : « extraire » et « exploiter » des informations ; elles seront mises en œuvre fréquemment, notamment dans les situations identifiées dans la colonne de droite du programme, en respectant l'esprit de la démarche scientifique.

Les activités proposées aux élèves au sujet de la compétence « extraire » et leurs connaissances acquises doivent les conduire à s'interroger de manière critique sur la valeur scientifique des informations, sur la pertinence de leur prise en compte, et à choisir de façon argumentée ce qui est à retenir dans des ensembles où l'information est souvent surabondante et parfois erronée, où la connaissance objective et rationnelle doit être distinguée de l'opinion et de la croyance.

Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc. L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. Cette formalisation pourra conduire à l'établissement des équations du modèle puis à leur traitement mathématique, numérique ou graphique.

L'élève est ainsi amené à raisonner avec méthode et à mettre en œuvre avec rigueur l'ensemble des étapes qui lui permettent de trouver la ou les solution(s) au problème posé. Le professeur aura cependant à l'esprit que le recours à des outils mathématiques n'est pas le but premier de la formation de l'élève en physique-chimie, même si cela peut être parfois nécessaire pour conduire une étude à son terme. Dans certains cas, le professeur utilisera des méthodes de résolutions graphique ou numérique, pratiques de plus en plus fréquentes en raison de la complexité des systèmes étudiés. Ce sera aussi l'occasion de souligner que les travaux de recherche sont souvent conduits par des équipes pluridisciplinaires.

Le professeur fera aussi appel à des exploitations qualitatives conduites avec rigueur. L'emploi de celles-ci s'avère particulièrement opportun dans le cas où elles permettent de dégager directement le sens de l'étude que pourrait masquer un développement calculatoire. Ainsi, l'analyse dimensionnelle, l'examen préalable des différents phénomènes en cause, la comparaison d'ordres de grandeur peuvent permettre une simplification efficace du cadre conceptuel de la situation et fournir une résolution élégante, rapide, à un problème a priori complexe.

Familiariser ainsi l'élève à pratiquer des raisonnements qualitatifs, à savoir faire de la physique et de la chimie « avec les mains », c'est aussi l'habituer à savoir communiquer en tant que scientifique avec des non-scientifiques.

Le résultat obtenu à l'issue d'une démarche de résolution sera l'objet d'une attention particulière. L'analyse critique d'un résultat permet en effet de lui donner davantage de sens, notamment lorsque l'on compare les effets attendus résultant de la modification d'un paramètre et ceux effectivement observés. L'exploitation d'un résultat apparaît comme un moyen de validation des hypothèses faites lors de la modélisation mais aussi comme le point de départ d'un réinvestissement : il s'agit de la charnière entre les démarches « comprendre » et « agir » que soulignent les programmes.

Les professeurs, s'ils souhaitent bénéficier de ressources didactiques, de situations et de questionnements, peuvent se reporter aux sites ministériels sur Éduscol : <http://www.eduscol.education.fr/cid46456/ressources-pour-le-college-et-le-lycee.html> où ils trouveront des ressources pour la classe terminale, qui n'ont cependant pas de valeur prescriptive. Il conviendra par ailleurs qu'ils s'appuient au mieux sur les acquis du collège et sur ceux des programmes de seconde et de première du lycée.

Les compétences évaluées en fin de cycle terminal à l'occasion des épreuves du baccalauréat porteront principalement sur le programme de terminale sans exclure celles des programmes des classes de seconde et de première, notamment celles de nature expérimentale.

Tout en poursuivant l'effort en cours de contextualisation de leur problématique, ces épreuves mettront ainsi l'accent sur l'acquisition de la méthodologie scientifique. Pour les élèves de terminale, le baccalauréat n'est pas en effet une fin en soi, mais une étape, destinée à préparer les élèves aux études supérieures, en accompagnant et prolongeant la formation des esprits à la démarche scientifique.

L'accent mis sur la méthodologie aura aussi notamment pour conséquence que les épreuves d'évaluation fourniront tous les éléments de savoir (formules, propriétés, données physicochimiques, schémas, etc.) nécessaires à leur résolution si cette dernière implique la mise en œuvre de compétences non exigibles car ne figurant pas dans la colonne de droite du programme.

Les programmes de terminale de la série scientifique comme ceux de première s'articulent autour des grandes phases de la démarche scientifique : **observer, comprendre, agir** et s'appuient sur des entrées porteuses et modernes introduites à partir de questionnements.

Observer : ondes et matière

La partie « observation » est étendue à l'ensemble du spectre des ondes électromagnétiques et aux ondes dans la matière, ainsi qu'aux particules.

Ondes et particules

Des sources « froides » (rayonnement cosmologique, nuages interstellaires, corps solides, etc.) aux plus « chaudes » (étoiles et sources associées), en passant par les sources composites comme les galaxies, l'Univers est rempli d'émetteurs électromagnétiques sur tout le spectre, qui interagissent avec l'atmosphère terrestre. Cette interaction, qui dépend du domaine spectral considéré, conditionne la nature de l'instrument d'observation, son support technologique et son altitude (du sol à l'extérieur de l'atmosphère).

L'Homme sait également fabriquer des sources de rayonnement sur l'ensemble du spectre, dans le visible, mais aussi dans les domaines radio, infrarouge et ultraviolet notamment.

Une étude documentaire, non exhaustive, des sources de rayonnement, éventuellement absorbé par l'atmosphère, sera menée, ainsi que sur les ondes de matière à l'œuvre sur Terre, avec une tonalité particulière mise sur les ondes sonores, dont un prolongement pourra être trouvé dans l'enseignement de spécialité.

Les photons associés aux ondes électromagnétiques, les particules élémentaires (électrons, protons, neutrinos, etc.), ou composites (noyaux, atomes, molécules) sont, à côté des ondes électromagnétiques et mécaniques, des supports précieux d'information.

Parmi l'ensemble des sources d'ondes et de particules, un choix est possible d'étude plus particulière ainsi que sur un dispositif d'observation donné. Cette faculté de choix porte également sur l'étude expérimentale obligatoire d'un dispositif de détection.

Caractéristiques et propriétés des ondes

Il s'agit de savoir décrire les ondes, définir et utiliser les grandeurs physiques associées. La diffraction d'ondes dans tous les domaines du spectre est soulignée, en particulier dans ses conséquences sur l'observation.

L'étude des interférences met l'accent sur les conditions d'interférences constructives et destructives pour les ondes monochromatiques.

Comme la diffraction et les interférences, l'effet Doppler se prête bien à exploitation expérimentale. Son étude sera étendue à l'investigation en astrophysique (mouvements des corps, détections indirectes et planètes extrasolaires, expansion de l'Univers) et à la vélocimétrie.

Analyse spectrale

La spectroscopie est un moyen privilégié d'étude des propriétés physicochimiques (température, composition) des sources de rayonnement, des objets astronomiques aux sources colorées fabriquées par l'Homme.

Elle est également un instrument irremplaçable d'analyse des espèces chimiques d'origine variée, notamment issues du domaine du vivant, qu'il s'agisse des spectres UV-visible, IR ou RMN. C'est principalement cet aspect qui donnera lieu à l'enseignement de terminale.

Sans aborder les règles qui régissent les transferts d'énergie dans les molécules, il s'agira d'exploiter des spectres de natures différentes à l'aide de tables et de logiciels, en vue de les mettre en relation avec la structure des molécules.

En outre, il s'agira de choisir une espèce colorée pour conduire une démarche expérimentale destinée à la caractériser.

Comme dans l'ensemble du programme, l'enseignant n'est pas tenu à une lecture séquentielle dans cette partie « Observer » et peut la traiter dans l'ordre de son choix pour les trois thèmes. Il peut également, comme pour le programme de première, choisir de faire un détour parmi les deux autres parties « Comprendre » et « Agir » du programme au moyen d'un « fil rouge ».

Comprendre : lois et modèles

La longueur des précisions relatives à chacun des thèmes de cette partie n'est pas indicative de la durée à consacrer à leur enseignement, mais vise à apporter des précisions supplémentaires sur les notions les plus nouvelles de physique contemporaine (relativité, physique quantique).

Temps, mouvement et évolution

Le temps et sa mesure, la définition et l'évolution de son unité, reposent sur l'étude et l'exploitation de phénomènes périodiques.

L'histoire de cette mesure, qui peut remonter aux procédés ancestraux (gnomonique), fournit la matière à l'étude documentaire d'une recherche de progrès tendue par le souci toujours plus grand de la précision, de la stabilité et de l'universalité (rotation et révolution terrestres, oscillateurs mécaniques et électriques, horloges atomiques).

L'occasion est alors donnée d'appliquer la cinématique et la dynamique newtoniennes pour inscrire le temps comme variable naturelle des phénomènes évolutifs. Outre l'énergie, l'introduction de la quantité de mouvement permet d'étendre l'étude si fructueuse pour la physique de grandeurs qui se conservent lors d'une évolution.

Les aspects énergétiques interviennent dans ce cadre en particulier pour analyser les causes de dissipation qui altèrent la reproductibilité des phénomènes et donc la qualité des étalons de temps.

La définition du temps atomique et la réalisation des horloges associées font accéder à des échelles de précision telles qu'elles mettent directement en évidence le caractère relatif du temps en fonction de la vitesse relative de l'horloge et de l'observateur, qui est à la base de la relativité restreinte.

Les postulats d'Einstein (1905), qui constituent cette base, aboutissent à affirmer que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens. C'est une constante fondamentale de la physique.

L'étude de cette propriété fondamentale dans le cadre d'un enseignement illustre bien la problématique du choix didactique face à la subtilité de la démarche scientifique. Cette subtilité est en l'occurrence celle de l'interrogation d'Einstein se posant la question de l'unité de la physique, entre l'électromagnétisme faisant apparaître une vitesse de propagation des ondes dans le vide indépendante du référentiel et la mécanique newtonienne posant l'additivité des vitesses, sans que l'on sache vraiment si la réponse d'Einstein avait pu être inspirée de tests expérimentaux comme l'expérience de Michelson et Morley.

La réponse d'Einstein sous forme de postulat remet en cause le cadre de la mécanique newtonienne, à savoir une vitesse de la lumière relative et un temps absolu, au profit d'une vitesse de la lumière absolue et un temps relatif.

L'invariance de la vitesse de la lumière dans le vide a été abondamment confirmée par l'expérience (prisme mobile d'Arago 1810, Michelson et Morley 1887, Alväger 1964, Hall Brillet 1979, étoiles doubles, etc.). La liberté didactique du professeur consiste à faire un choix, notamment entre une approche historique, pouvant d'emblée annoncer le postulat et le faire suivre par des tests expérimentaux, et une approche plus « pédagogique », partant des résultats expérimentaux pour rendre plus naturelle ensuite l'hypothèse d'Einstein. En ce sens, le programme se présente selon un ordre qui ne saurait être prescriptif, selon l'esprit général qui l'anime.

Il en va de même du caractère relatif du temps, entre ses notions afférentes (événement, temps propre, temps mesuré, dilatation des durées) et ses confirmations expérimentales ou situations concrètes (désintégration des muons dans l'atmosphère, particules instables dans les accélérateurs, horloges atomiques embarquées, GPS, etc.). À ce titre, on remarquera que la dilatation des durées se prête à analyse quantitative : la relation $\Delta t_m = \gamma \Delta t_p$ avec $\gamma = 1/(1 - (v/c)^2)^{1/2}$ entre durée mesurée et durée propre peut être aisément justifiée (horloge de lumière, « expérience » de la lumière émise dans un bateau).

La mesure du temps (dans une approche classique) s'applique également à l'étude de la transformation de la matière, au travers notamment des facteurs qui influencent le rythme et la durée des évolutions chimiques. La cinétique et la catalyse s'inscrivent dans cette problématique, en se prêtant bien à des approches expérimentales et à des illustrations dans les champs aussi bien naturels qu'industriels.

Structure et transformation de la matière

Le programme de la classe terminale consacre ce thème à l'évolution de la matière au travers des réactions chimiques, en partant des représentations. Ceci pourra être l'occasion de mentionner l'importance des conformations et configurations dans le milieu biologique.

Une première approche de la réactivité est présentée. L'objectif est d'introduire les grandes classes de réactions en chimie organique et de faire percevoir l'idée que l'interaction entre un site nucléophile et un site électrophile fonde la plupart des réactions en chimie organique. Sans entrer dans le détail de leur interprétation par un mécanisme réactionnel, cette approche doit permettre de préparer la compréhension des fondements des réactions qui interviendront lors de la poursuite d'études scientifiques.

Les transformations étudiées s'inscrivent dans les deux grands ensembles de la chimie organique et de la réaction chimique par échange de proton. Au-delà du côté classique de ces exemples, il importera de contextualiser autant que possible leur étude, avec une attention particulière portée aux milieux biologiques, qui permettent aisément de construire des fils rouges.

On notera que les démarches expérimentales portant sur le même objet initial d'étude, comme les solutions par exemple, se prêtent bien aux analyses statistiques dans le cadre de la formation des élèves aux méthodes d'analyse des résultats de mesure.

Énergie, matière et rayonnement

Ce thème porte pour l'essentiel sur le rapport entre énergie et matière, avec un éclairage particulier porté au rayonnement, comme porte d'entrée sur le comportement quantique du réel.

L'étude documentaire doit permettre de saisir le changement des ordres de grandeur lors du passage du macroscopique au microscopique, notamment sur le plan du dénombrement (constante d'Avogadro) ou de la taille des objets. Cette étude doit aussi mettre en évidence l'aspect nécessairement statistique de notre connaissance des systèmes formés d'un grand nombre d'entités microscopiques. Les résultats des observations à très petite échelle fournissent des représentations au moyen d'images (il faudra être prudent sur la signification du terme « visualiser »)

des atomes et des molécules, qui permettent de remonter aux dimensions et à la structure de la matière à ce niveau d'organisation.

L'étude des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques traite de notions de base de la thermodynamique (énergie interne, transferts thermiques, travail, capacité thermique), première étape vers l'étude future de ses principes. L'occasion doit être donnée de mettre en place certains éléments méthodologiques de la thermodynamique : définition du système étudié, identification de la nature et du sens des transferts d'énergie, analyse critique des résultats obtenus et mise en perspective avec des dispositifs réels.

La diversité des transferts thermiques permet d'évoquer l'irréversibilité des phénomènes liée, en particulier aux processus diffusifs, et d'aborder des aspects de la vie courante tenant aux préoccupations énergétiques. Ainsi, les bilans d'énergie peuvent être empruntés au domaine de l'habitat (problématique du chauffage d'une habitation, géothermie, pompe à chaleur, climatiseur, réfrigérateur, etc.), du transport (moteurs, effets thermiques liés au frottement, etc.) ou bien encore celui de la production d'énergie, qui peut être l'occasion pour le professeur de faire un lien avec la thématique sur les enjeux énergétiques de la partie « Agir - défis du XXIème siècle ».

Au niveau quantique, le laser s'avère être un objet et un outil d'étude privilégié des transferts d'énergie. L'étude des émissions et de l'absorption quantiques n'est menée qu'au niveau de leur principe, toute étude théorique plus quantitative (coefficients d'Einstein) étant hors programme. La présentation doit en effet avoir comme seule fin de comprendre le principe du pompage optique et de l'amplification cohérente et directive d'un rayonnement monochromatique incident, dans l'enceinte d'un oscillateur optique.

L'usage du laser peut aisément faire partie des fils rouges du programme (onde électromagnétique, spectroscopie, principe des transferts quantiques, traitement de l'information, etc.).

La dualité onde-corpuscule est une formulation qui s'applique aux manifestations du photon, qui se comporte soit comme une onde, soit comme une particule, selon le contexte expérimental considéré. Mais elle ne doit pas décrire la nature intrinsèque du photon lui-même, qui n'est ni une onde, ni une particule, mais l'archétype d'un objet quantique, appelé parfois « quanton » par les scientifiques.

L'occasion doit pouvoir être saisie d'une similitude des propriétés des ondes de matière et des ondes électromagnétiques, comme dans le cas des électrons et des rayons X. Une illustration naturelle et nécessaire en est celle du microscope électronique où $p = h/\lambda$, soit $\lambda = h/p$, rapportée au phénomène de diffraction, explique la nécessité d'explorer la matière par des particules ou du rayonnement de longueur d'onde nettement plus petite que la taille des objets observés.

L'observation (vidéo) de la réalisation progressive de la figure d'interférences obtenue en émettant le rayonnement photon par photon, ou la matière particule par particule, souligne l'étrangeté éventuelle des phénomènes quantiques pour le sens commun. Elle est une illustration parmi d'autres de l'aspect probabiliste de la réalité quantique, comme peut l'être la désintégration radioactive (cas des muons évoqués plus haut). L'incertitude associée aux phénomènes quantiques, comme sur l'instant auquel se produit une désintégration, ne doit pas laisser croire que toutes les mesures physiques à ce niveau sont incertaines. Ainsi, l'énergie des niveaux quantiques stables peut être connue avec une précision exceptionnelle (de l'ordre de 10^{-13} par exemple pour le premier niveau d'énergie de l'atome d'hydrogène !). Si l'occurrence des phénomènes quantiques individuels ne peut être connue avec précision, la loi des grands nombres permet néanmoins de prévoir précisément le comportement des grands ensembles, c'est-à-dire des systèmes macroscopiques. Il faut bien voir alors que la limite de la précision dans leur connaissance réside dans l'acte de mesure lui-même, alors qu'elle est intrinsèque au niveau microscopique, en raison du caractère probabiliste de la réalité quantique.

Le professeur exerce sa liberté pédagogique en traitant cette partie « Lois et modèles » du programme, dédiée à la modélisation conceptuelle, dans l'ordre des thèmes de son choix.

Agir : défis du XXIème siècle

L'histoire des sociétés montre que la science a acquis « droit de cité » lorsqu'elle a donné aux faits techniques établis de façon empirique une base conceptuelle Universelle permettant de les comprendre, d'en formaliser la théorie pour la réinvestir de façon efficiente.

Si l'on excepte un changement radical des modes de vie, l'activité scientifique et ses applications technologiques s'avèrent être des réponses crédibles aux défis posés à l'Homme, en particulier ceux retenus pour la terminale S : **économiser les ressources et respecter l'environnement, synthétiser des molécules et fabriquer de nouveaux matériaux, transmettre et stocker l'information**, qui prolongent et étendent ceux de la première S.

Les défis du XXIème siècle concernent la planète et l'humanité tout entières. La communication internationale traitant de cette globalité a lieu de plus en plus fréquemment en anglais. Dès lors, la lecture de documents comme ceux relatifs aux protocoles expérimentaux (en synthèse organique par exemple) pourra offrir quelques occasions de se familiariser avec l'usage scientifique de cette langue, sans exclure une autre langue étrangère en fonction de l'origine de l'information et du contexte linguistique de la classe.

Le thème « Créer et innover » est un espace de liberté pour le professeur, qui peut choisir un ou deux sujet(s) d'étude en raison de l'intérêt que ses élèves et lui-même y trouvent, des ressources locales, de l'actualité scientifique, de l'opportunité de découvrir certains métiers de la recherche ou de la possibilité de participer à des actions de promotion de la culture scientifique et technique. À ce titre, le professeur peut trouver des exemples d'actions spécifiques en ce domaine dans celles du dispositif ministériel « Sciences à l'école ».

Ainsi, la partie « Agir : défis du XXI^{ème} siècle » conduit l'élève à percevoir les tendances actuelles de la recherche et du progrès scientifique.

Sur cette partie de programme, la compétence exigible portera sur la rédaction d'une synthèse de document qui permet en effet de mobiliser les capacités d'analyse, d'esprit critique, de synthèse et les méthodes de travail qu'elles supposent, acquises tout au long de la formation.

Le programme est présenté en deux colonnes intitulées :

- Notions et contenus : il s'agit des concepts à étudier ;
- Compétences exigibles : il s'agit de connaissances à mobiliser, de capacités à mettre en œuvre et d'attitudes à acquérir et dont la maîtrise est exigée en fin d'année scolaire. Lorsqu'elles sont écrites en italique, ces compétences sont de nature expérimentale et leur acquisition est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une activité expérimentale de chaque élève authentique et sûre, et qui intègre dès la classe de première des compétences liées à la précision et aux incertitudes des mesures (**annexe « Mesures et incertitudes »**). Comme pour le programme de première S, la démarche scientifique peut être mise en œuvre dans chacune des trois grandes parties du programme, voire dans chacun des thèmes constituant une de ces grandes parties. Le professeur peut aussi bien avoir une lecture horizontale de son choix de progression thématique (dans une même partie) que verticale (par succession de thèmes appartenant à des parties différentes), en suivant un « fil rouge ».

Ainsi, l'étude des « briques » du vivant permet aisément d'associer l'observation spectroscopique, les mécanismes de la transformation chimique (Comprendre) et les stratégies de la synthèse (Agir). L'exemple des acides aminés, briques des protéines et des enzymes, peut être avancé. On en trouve d'ailleurs un certain nombre (alanine, glycine, acide aspartique, etc.) en des endroits comme les météorites (Murchison) où ils sont en compagnie des constituants de l'ARN et de l'ADN que sont les purines (adénine, guanine) et les pyrimidines (uracile, thymine, cytosine). De telles illustrations de l'Universalité des phénomènes - qui doit être soulignée - sont laissées au libre choix du professeur ; elles ne peuvent en conséquence faire partie des connaissances exigibles de l'élève pour le baccalauréat.

D'autres fils rouges possibles existent, plus larges, comme la thématique générale des ondes (propriétés, sources, détection, traitement de l'information), la spectroscopie comme méthode (principe, expérience, résultats, exploitations), etc. **La seule contrainte est qu'au bout du compte, l'ensemble des notions et contenus explicités dans le programme soient traités dans la perspective de l'acquisition par tous les élèves des compétences exigibles précisées, tout en respectant l'esprit de la démarche scientifique.** Celle-ci ne saurait en effet être dénaturée par le biais d'une liberté pédagogique qui conduirait à reconstituer une pratique dogmatique et académique de l'enseignement scientifique, articulée avec un découpage traditionnel de la discipline.

La liberté de l'enseignant, traduction sur le plan pédagogique de la liberté intellectuelle du chercheur, doit être révélatrice pour les élèves de l'esprit de la démarche scientifique.

Mesures et incertitudes

Informations destinées au professeur

Le tableau suivant résume les notions et compétences spécifiques relatives aux mesures et à leurs incertitudes que les élèves doivent maîtriser à la fin de la formation du lycée. Elles pourront être approfondies avec profit dans le cadre de la spécialité de physique-chimie de la terminale S.

L'ensemble des activités expérimentales, en italique dans la colonne de droite des programmes de première et de terminale, doit progressivement fournir l'occasion de leur mise en œuvre et de leur acquisition.

L'informatique peut jouer un rôle tout à fait particulier en fournissant aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des outils mathématiques utilisés. L'accent doit être mis sur la prise de conscience des causes de limitation de la précision (sources d'erreurs) et de leurs implications sur la qualité de la mesure.

Dans une perspective de compréhension des bases de la métrologie, le professeur pourra mettre en regard la sémantique de ces bases et les acceptions courantes. Pour ces dernières, le vrai est ce qui est indubitable, l'incertain est ce dont on n'est pas sûr et l'erreur est ce qu'on aurait pu ne pas faire.

Dans le langage de la métrologie, il est question de valeur vraie, celle qu'on aurait obtenue avec une mesure parfaite (de précision illimitée). Cette valeur est donc inconnue, elle est même illusoire, en raison de la variabilité des phénomènes. On aura donc une valeur mesurée, et le résultat final de la mesure sera cette valeur, éventuellement issue d'une moyenne, assortie d'une incertitude (en fait un écart-type) résultant d'erreurs. Ici, l'incertitude et l'erreur sont des concepts scientifiques précis ; cette dichotomie peut entraîner des confusions (comme la masse et le poids) que l'enseignant peut souligner.

Formation de l'élève

Notions et contenus	Compétences expérimentales exigibles
Erreurs et notions associées	Identifier les différentes sources d'erreur (de limites à la précision) lors d'une mesure : variabilités du phénomène et de l'acte de mesure (facteurs liés à l'opérateur, aux instruments, etc.).
Incertitudes et notions associées	Évaluer et comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie. Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
Expression et acceptabilité du résultat	Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture. Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance. Évaluer la précision relative. Déterminer les mesures à conserver en fonction d'un critère donné. Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence. Faire des propositions pour améliorer la démarche.

Programme

Observer

Ondes et matière

Les ondes et les particules sont supports d'informations.

Comment les détecte-t-on ? Quelles sont les caractéristiques et les propriétés des ondes ?

Comment réaliser et exploiter des spectres pour identifier des atomes et des molécules ?

Ondes et particules

Notions et contenus	Compétences exigibles
Rayonnements dans l'Univers Absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre.	Extraire et exploiter des informations sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers. Connaître des sources de rayonnement radio, infrarouge et ultraviolet.
Les ondes dans la matière Houle, ondes sismiques, ondes sonores. Magnitude d'un séisme sur l'échelle de Richter. Niveau d'intensité sonore.	Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière. Connaître et exploiter la relation liant le niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore.
Détecteurs d'ondes (mécaniques et électromagnétiques) et de particules (photons, particules élémentaires ou non).	Extraire et exploiter des informations sur : - des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ; - un dispositif de détection. <i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection.</i>

Caractéristiques et propriétés des ondes

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Caractéristiques des ondes Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard.</p> <p>Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales.</p> <p>Ondes sonores et ultrasonores. Analyse spectrale. Hauteur et timbre.</p>	<p>Définir une onde progressive à une dimension. Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité). <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.</i></p> <p>Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.</i></p> <p><i>Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.</i></p>
<p>Propriétés des ondes Diffraction. Influence relative de la taille de l'ouverture ou de l'obstacle et de la longueur d'onde sur le phénomène de diffraction.</p> <p>Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche.</p> <p>Interférences.</p> <p>Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.</p> <p>Effet Doppler.</p>	<p>Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle. Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$. Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction. <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.</i></p> <p>Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques. <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.</i> Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.</p>

Analyse spectrale

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Spectres UV-visible Lien entre couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption de substances organiques ou inorganiques.</p>	<p><i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour caractériser une espèce colorée.</i> Exploiter des spectres UV-visible.</p>
<p>Spectres IR Identification de liaisons à l'aide du nombre d'onde correspondant ; détermination de groupes caractéristiques. Mise en évidence de la liaison hydrogène.</p>	<p>Exploiter un spectre IR pour déterminer des groupes caractéristiques à l'aide de tables de données ou de logiciels. Associer un groupe caractéristique à une fonction dans le cas des alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide. Connaître les règles de nomenclature de ces composés ainsi que celles des alcanes et des alcènes.</p>

<p>Spectres RMN du proton Identification de molécules organiques à l'aide : - du déplacement chimique ; - de l'intégration ; - de la multiplicité du signal : règle des (n+1)-uplets.</p>	<p>Relier un spectre RMN simple à une molécule organique donnée, à l'aide de tables de données ou de logiciels. Identifier les protons équivalents. Relier la multiplicité du signal au nombre de voisins.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur différents types de spectres et sur leurs utilisations.</p>
--	--

Comprendre

Lois et modèles

Comment exploite-t-on des phénomènes périodiques pour accéder à la mesure du temps ? En quoi le concept de temps joue-t-il un rôle essentiel dans la relativité ? Quels paramètres influencent l'évolution chimique ? Comment la structure des molécules permet-elle d'interpréter leurs propriétés ? Comment les réactions en chimie organique et celles par échange de proton participent-elles de la transformation de la matière ? Comment s'effectuent les transferts d'énergie à différentes échelles ? Comment se manifeste la réalité quantique, notamment pour la lumière ?

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Temps, cinématique et dynamique newtoniennes Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.</p> <p>Référentiel galiléen.</p> <p>Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.</p> <p>Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.</p> <p>Mouvement d'un satellite. Révolution de la Terre autour du Soleil.</p> <p>Lois de Kepler.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.</p> <p>Choisir un référentiel d'étude. Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.</p> <p>Définir la quantité de mouvement \vec{p} d'un point matériel. Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes. <i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.</i></p> <p>Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.</p> <p>Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.</p>

<p>Mesure du temps et oscillateur, amortissement</p> <p>Travail d'une force. Force conservative ; énergie potentielle.</p> <p>Forces non conservatives : exemple des frottements.</p> <p>Énergie mécanique.</p> <p>Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique. Dissipation d'énergie.</p> <p>Définition du temps atomique.</p>	<p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - les différents paramètres influençant la période d'un oscillateur mécanique ; - son amortissement. <p>Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).</p> <p>Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.</p> <p>Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur.</i></p> <p>Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de la seconde.</p> <p>Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.</p>
<p>Temps et relativité restreinte</p> <p>Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.</p> <p>Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.</p> <p>Notion d'événement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.</p>	<p>Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.</p> <p>Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée. Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.</p>
<p>Temps et évolution chimique : cinétique et catalyse</p> <p>Réactions lentes, rapides ; durée d'une réaction chimique.</p> <p>Facteurs cinétiques. Évolution d'une quantité de matière au cours du temps. Temps de demi-réaction.</p> <p>Catalyse homogène, hétérogène et enzymatique.</p>	<p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour suivre dans le temps une synthèse organique par CCM et en estimer la durée.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mettre en évidence quelques paramètres influençant l'évolution temporelle d'une réaction chimique : concentration, température, solvant.</i></p> <p>Déterminer un temps de demi-réaction.</p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mettre en évidence le rôle d'un catalyseur.</i></p> <p>Extraire et exploiter des informations sur la catalyse, notamment en milieu biologique et dans le domaine industriel, pour en dégager l'intérêt.</p>

Structure et transformation de la matière

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Représentation spatiale des molécules Chiralité : définition, approche historique.</p> <p>Représentation de Cram.</p> <p>Carbone asymétrique. Chiralité des acides α-aminés.</p> <p>Énantiomérie, mélange racémique, diastéréoisomérisation (<i>Z/E</i>, deux atomes de carbone asymétriques).</p> <p>Conformation : rotation autour d'une liaison simple ; conformation la plus stable.</p> <p>Formule topologique des molécules organiques.</p> <p>Propriétés biologiques et stéréoisomérisation.</p>	<p>Reconnaître des espèces chirales à partir de leur représentation.</p> <p>Utiliser la représentation de Cram.</p> <p>Identifier les atomes de carbone asymétrique d'une molécule donnée.</p> <p>À partir d'un modèle moléculaire ou d'une représentation, reconnaître si des molécules sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence des propriétés différentes de diastéréoisomères.</i></p> <p><i>Visualiser, à partir d'un modèle moléculaire ou d'un logiciel de simulation, les différentes conformations d'une molécule.</i></p> <p>Utiliser la représentation topologique des molécules organiques.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur : - les propriétés biologiques de stéréoisomères, - les conformations de molécules biologiques, pour mettre en évidence l'importance de la stéréoisomérisation dans la nature.</p>
<p>Transformation en chimie organique</p> <p>Aspect macroscopique : - Modification de chaîne, modification de groupe caractéristique. - Grandes catégories de réactions en chimie organique : substitution, addition, élimination.</p> <p>Aspect microscopique : - Liaison polarisée, site donneur et site accepteur de doublet d'électrons. - Interaction entre des sites donneurs et accepteurs de doublet d'électrons ; représentation du mouvement d'un doublet d'électrons à l'aide d'une flèche courbe lors d'une étape d'un mécanisme réactionnel.</p>	<p>Reconnaître les groupes caractéristiques dans les alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide. Utiliser le nom systématique d'une espèce chimique organique pour en déterminer les groupes caractéristiques et la chaîne carbonée. Distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique. Déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, addition, élimination) à partir de l'examen de la nature des réactifs et des produits.</p> <p>Déterminer la polarisation des liaisons en lien avec l'électronégativité (table fournie). Identifier un site donneur, un site accepteur de doublet d'électrons. Pour une ou plusieurs étapes d'un mécanisme réactionnel donné, relier par une flèche courbe les sites donneur et accepteur en vue d'expliquer la formation ou la rupture de liaisons.</p>

<p>Réaction chimique par échange de proton Le pH : définition, mesure.</p> <p>Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a. Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides α-aminés).</p> <p>Réactions quasi-totales en faveur des produits : - acide fort, base forte dans l'eau ; - mélange d'un acide fort et d'une base forte dans l'eau.</p> <p>Réaction entre un acide fort et une base forte : aspect thermique de la réaction. Sécurité.</p> <p>Contrôle du pH : solution tampon ; rôle en milieu biologique.</p>	<p><i>Mesurer le pH d'une solution aqueuse.</i></p> <p>Reconnaître un acide, une base dans la théorie de Brønsted. Utiliser les symbolismes \rightarrow, \leftarrow et \rightleftharpoons dans l'écriture des réactions chimiques pour rendre compte des situations observées. Identifier l'espèce prédominante d'un couple acide-base connaissant le pH du milieu et le pK_a du couple. <i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour déterminer une constante d'acidité.</i></p> <p>Calculer le pH d'une solution aqueuse d'acide fort ou de base forte de concentration usuelle.</p> <p><i>Mettre en évidence l'influence des quantités de matière mises en jeu sur l'élévation de température observée.</i></p> <p>Extraire et exploiter des informations pour montrer l'importance du contrôle du pH dans un milieu biologique.</p>
--	---

Énergie, matière et rayonnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Du macroscopique au microscopique</p> <p>Constante d'Avogadro.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.</p> <p>Évaluer des ordres de grandeurs relatifs aux domaines microscopique et macroscopique.</p>
<p>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique.</p> <p>Capacité thermique.</p> <p>Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique. Notion d'irréversibilité.</p> <p>Bilans d'énergie.</p>	<p>Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques.</p> <p>Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.</p> <p>Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique. Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.</p> <p>Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.</p>
<p>Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser.</p> <p>Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.</p>	<p>Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie). <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information.</i></p> <p>Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.</p>

<p>Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.</p> <p>Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.</p> <p>Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.</p>	<p>Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation $p = h/\lambda$. Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.</p>
--	---

Agir

Défis du XXI^{ème} siècle

En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ?

Économiser les ressources et respecter l'environnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Enjeux énergétiques Nouvelles chaînes énergétiques.</p> <p>Économies d'énergie.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur des réalisations ou des projets scientifiques répondant à des problématiques énergétiques contemporaines.</p> <p>Faire un bilan énergétique dans les domaines de l'habitat ou du transport. Argumenter sur des solutions permettant de réaliser des économies d'énergie.</p>
<p>Apport de la chimie au respect de l'environnement Chimie durable : - économie d'atomes ; - limitation des déchets ; - agro ressources ; - chimie douce ; - choix des solvants ; - recyclage. Valorisation du dioxyde de carbone.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations en lien avec : - la chimie durable, - la valorisation du dioxyde de carbone pour comparer les avantages et les inconvénients de procédés de synthèse du point de vue du respect de l'environnement.</p>
<p>Contrôle de la qualité par dosage Dosages par étalonnage : - spectrophotométrie ; loi de Beer-Lambert ; - conductimétrie ; explication qualitative de la loi de Kohlrausch, par analogie avec la loi de Beer-Lambert.</p> <p>Dosages par titrage direct. Réaction support de titrage ; caractère quantitatif. Équivalence dans un titrage ; repérage de l'équivalence pour un titrage pH-métrique, conductimétrique et par utilisation d'un indicateur de fin de réaction.</p>	<p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de courbes d'étalonnage en utilisant la spectrophotométrie et la conductimétrie, dans le domaine de la santé, de l'environnement ou du contrôle de la qualité.</i></p> <p>Établir l'équation de la réaction support de titrage à partir d'un protocole expérimental. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce chimique par titrage par le suivi d'une grandeur physique et par la visualisation d'un changement de couleur, dans le domaine de la santé, de l'environnement ou du contrôle de la qualité.</i> Interpréter qualitativement un changement de pente dans un titrage conductimétrique.</p>

Synthétiser des molécules, fabriquer de nouveaux matériaux

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Stratégie de la synthèse organique Protocole de synthèse organique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identification des réactifs, du solvant, du catalyseur, des produits ; - détermination des quantités des espèces mises en jeu, du réactif limitant ; - choix des paramètres expérimentaux : température, solvant, durée de la réaction, pH ; - choix du montage, de la technique de purification, de l'analyse du produit ; - calcul d'un rendement ; - aspects liés à la sécurité ; - coûts. 	<p>Effectuer une analyse critique de protocoles expérimentaux pour identifier les espèces mises en jeu, leurs quantités et les paramètres expérimentaux. Justifier le choix des techniques de synthèse et d'analyse utilisées.</p> <p>Comparer les avantages et les inconvénients de deux protocoles.</p>
<p>Sélectivité en chimie organique Composé polyfonctionnel : réactif chimiosélectif, protection de fonctions.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sur l'utilisation de réactifs chimiosélectifs, - sur la protection d'une fonction dans le cas de la synthèse peptidique, <p>pour mettre en évidence le caractère sélectif ou non d'une réaction.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour synthétiser une molécule organique d'intérêt biologique à partir d'un protocole.</i> <i>Identifier des réactifs et des produits à l'aide de spectres et de tables fournis.</i></p>

Transmettre et stocker de l'information

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Chaîne de transmission d'informations</p>	<p>Identifier les éléments d'une chaîne de transmission d'informations.</p> <p>Recueillir et exploiter des informations concernant des éléments de chaînes de transmission d'informations et leur évolution récente.</p>
<p>Images numériques Caractéristiques d'une image numérique : pixellisation, codage RVB et niveaux de gris.</p>	<p>Associer un tableau de nombres à une image numérique.</p> <p><i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un capteur (caméra ou appareil photo numériques par exemple) pour étudier un phénomène optique.</i></p>
<p>Signal analogique et signal numérique Conversion d'un signal analogique en signal numérique.</p> <p>Échantillonnage ; quantification ; numérisation.</p>	<p>Reconnaître des signaux de nature analogique et des signaux de nature numérique.</p> <p><i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un échantillonneur-bloqueur et/ou un convertisseur analogique numérique (CAN) pour étudier l'influence des différents paramètres sur la numérisation d'un signal (d'origine sonore par exemple).</i></p>

<p>Procédés physiques de transmission Propagation libre et propagation guidée. Transmission : - par câble ; - par fibre optique : notion de mode ; - transmission hertzienne.</p> <p>Débit binaire.</p> <p>Atténuations.</p>	<p>Exploiter des informations pour comparer les différents types de transmission.</p> <p>Caractériser une transmission numérique par son débit binaire. Évaluer l'affaiblissement d'un signal à l'aide du coefficient d'atténuation. <i>Mettre en œuvre un dispositif de transmission de données (câble, fibre optique).</i></p>
<p>Stockage optique Écriture et lecture des données sur un disque optique. Capacités de stockage.</p>	<p>Expliquer le principe de la lecture par une approche interférentielle. Relier la capacité de stockage et son évolution au phénomène de diffraction.</p>

Créer et innover

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Culture scientifique et technique ; relation science-société. Métiers de l'activité scientifique (partenariat avec une institution de recherche, une entreprise, etc.).</p>	<p>Rédiger une synthèse de documents pouvant porter sur : - l'actualité scientifique et technologique ; - des métiers ou des formations scientifiques et techniques ; - les interactions entre la science et la société.</p>

ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

L'enseignement de spécialité de physique-chimie prépare l'élève à une poursuite d'études scientifiques dans ce domaine en consolidant son choix d'orientation. Il lui permet en effet d'affirmer sa maîtrise de la démarche scientifique ainsi que celle des pratiques expérimentales et lui offre le moyen de tester ses goûts et ses compétences.

En plaçant l'élève en situation de recherche et d'action, cet enseignement lui permet de consolider les compétences associées à une démarche scientifique. L'élève est ainsi amené à développer trois activités essentielles chez un scientifique :

- la pratique expérimentale ;
- l'analyse et la synthèse de documents scientifiques ;
- la résolution de problèmes scientifiques.

Pour cela, le programme de spécialité fait appel à l'étude de trois thèmes, un thème de chimie (l'eau), un thème de physique (son et musique) et un thème (matériaux) qui conjugue des apports de chimie et de physique.

Pour chacun des trois thèmes, le professeur aborde tous les domaines d'étude en développant son enseignement à partir de quelques mots-clés choisis parmi ceux de la colonne de droite du programme.

Ces mots-clés sous-tendent des connaissances nouvelles complétant l'enseignement spécifique. Nécessaires à la compréhension des sujets étudiés, elles ne sont cependant pas exigibles au baccalauréat.

La pratique expérimentale doit être soutenue et diversifiée et favoriser l'initiative des élèves. Pour chaque thème, elle doit prendre en compte leurs centres d'intérêt.

L'analyse et la synthèse de documents scientifiques prolongent les compétences « extraire et exploiter » mises en œuvre dans l'enseignement spécifique. Elles conduisent l'élève à présenter de façon objective et critique, structurée et claire, les éléments qu'il aura extraits et exploités des documents scientifiques mis à sa disposition.

Lors de la démarche de résolution de problèmes scientifiques, l'élève analyse le problème posé pour en comprendre le sens, construit des étapes de résolution et les met en œuvre. Il porte un regard critique sur le résultat, notamment par l'évaluation d'un ordre de grandeur ou par des considérations sur l'homogénéité. Il examine la pertinence des étapes de résolution qu'il a élaborées et les modifie éventuellement en conséquence. Il ne s'agit donc pas pour lui de suivre les étapes de résolution qui seraient imposées par la rédaction d'un exercice, mais d'imaginer lui-même une ou plusieurs pistes pour répondre à la question scientifique posée. C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème.

Les situations rencontrées par l'élève en cours de formation ainsi qu'au baccalauréat se limiteront aux domaines d'étude des trois thèmes de l'enseignement de spécialité. Le professeur fera largement appel à des situations comportant une dimension expérimentale.

Thème 1 : l'eau

Domaines d'étude	Mots-clés
Eau et environnement	Mers, océans ; climat ; traceurs chimiques. Érosion, dissolution, concrétion. Surveillance et lutte physico-chimique contre les pollutions ; pluies acides.
Eau et ressources	Production d'eau potable ; traitement des eaux Ressources minérales et organiques dans les océans ; hydrates de gaz.
Eau et énergie	Piles à combustible. Production de dihydrogène.

Thème 2 : son et musique

Domaines d'étude	Mots-clés
Instruments de musique	Instruments à cordes, à vent et à percussion. Instruments électroniques. Acoustique musicale ; gammes ; harmonies. Traitement du son.
Émetteurs et récepteurs sonores	Voix ; acoustique physiologique. Microphone ; enceintes acoustiques ; casque audio. Reconnaissance vocale.
Son et architecture	Auditorium ; salle sourde. Isolation phonique ; acoustique active ; réverbération.

Thème 3 : matériaux

Domaines d'étude	Mots-clés
Cycle de vie	Élaboration, vieillissement, corrosion, protection, recyclage, élimination.
Structure et propriétés	Conducteurs, supraconducteurs, cristaux liquides. Semi-conducteurs, photovoltaïques. Membranes. Colles et adhésifs Tensioactifs, émulsions, mousses.
Nouveaux matériaux	Nanotubes, nanoparticules. Matériaux nanostructurés. Matériaux composites Céramiques, verres. Matériaux biocompatibles, textiles innovants.

Spécial

Physique-chimie en classe de 1ère des séries STI2D et STL

NOR : MENE1104128A

arrêté du 8-2-2011 - J.O. du 25-2-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'Éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du comité interprofessionnel consultatif du 4-2-2011 ; avis du CSE du 9-12-2010

Article 1 - Le programme de l'enseignement de physique-chimie en classe de première des séries sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) et sciences et technologies de laboratoire (STL) est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2011-2012.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 8 février 2011

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et de la Vie associative
et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Physique-chimie - classe de première des séries technologiques STI2D et STL

Objectifs

Les objectifs et les démarches de l'enseignement de physique et chimie du tronc commun des séries STI2D et STL se situent dans le prolongement de l'initiation aux sciences physiques et chimiques entreprise au collège puis en classe de seconde. Au travers de l'apprentissage de la démarche scientifique, cet enseignement vise l'acquisition ou le renforcement, chez les élèves, de connaissances des lois et des modèles physiques et chimiques fondamentaux, de compétences expérimentales et d'une méthodologie de résolution de problèmes dans les domaines en lien avec les technologies industrielles ou de laboratoire, sans spécialisation excessive. Il doit permettre aux élèves d'accéder à des poursuites d'études supérieures scientifiques et technologiques dans de nombreuses spécialités et d'y réussir, puis de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles. L'accent est donc mis sur l'acquisition d'une culture scientifique, de notions et de compétences pérennes pouvant être réinvesties dans le cadre d'une formation tout au long de la vie.

Depuis des siècles, les sciences ont contribué à apporter des réponses aux problèmes qui se sont posés à l'humanité et l'ont aidée à relever de véritables défis en contribuant largement au progrès technique ; elles permettent de mieux comprendre le monde complexe qui est le nôtre et ses modes de fonctionnement, notamment ceux qui résultent de la technologie omniprésente.

Dans les séries technologiques STI2D et STL, les programmes d'enseignement privilégient une approche thématique ouverte sur les réalités contemporaines, permettant d'articuler les connaissances et les capacités fondamentales en les contextualisant. Cette démarche permet **d'identifier** des phénomènes et propriétés relevant du champ des sciences physiques et chimiques dans des réalisations technologiques, **de préciser** les problèmes qu'elles ont permis de résoudre, **de mettre en évidence** le rôle qu'elles ont joué dans l'élaboration des objets ou des systèmes simples, complexes ou innovants actuels, **de souligner** la place qu'elles peuvent et doivent tenir pour faire face aux grands défis de société.

Complémentairement, une mise en perspective historique fournit l'occasion de faire ressortir comment les allers-retours entre la technologie et les sciences physiques et chimiques ont permis de formidables inventions, découvertes et innovations scientifiques et technologiques. Celles-ci ont conduit à la réalisation de progrès techniques tout autant que de grandes avancées intellectuelles dans l'intelligibilité du monde réel.

De même que la science n'est pas faite de vérités intangibles et immuables, la technologie est en perpétuelle évolution. Qu'il s'agisse de la compréhension du monde pour le chercheur, ou de la conception de nouveaux dispositifs pour l'ingénieur, leurs activités procèdent de démarches intellectuelles analogues ; il s'agit pour eux, à partir d'un questionnement, de rechercher des réponses ou des solutions à un problème, de les enrichir et de les faire évoluer avec le temps pour les rendre plus efficaces. Ces procédures entre travail conceptuel, modélisation et expérimentation constituent des composantes de la démarche scientifique.

Initier l'élève à la **démarche scientifique**, c'est lui permettre de développer des compétences nécessaires pour prendre des décisions raisonnables et éclairées dans les nombreuses situations nouvelles qu'il rencontrera tout au long de sa vie et, ainsi, le conduire à devenir un adulte libre, autonome et responsable.

Ces compétences nécessitent la maîtrise de capacités qui dépassent largement le cadre de l'activité scientifique :

- faire preuve d'initiative, de ténacité et d'esprit critique ;
- confronter ses représentations avec la réalité ;
- observer en faisant preuve de curiosité ;
- mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile fournie par une situation, une expérience ou un document ;
- raisonner, démontrer, argumenter, exercer son esprit d'analyse.

La **modélisation** est une composante essentielle de la démarche scientifique. Elle a pour objectif de représenter une réalité (en la simplifiant souvent) et de prévoir son comportement. Les activités pédagogiques proposées amènent l'élève à **associer** un modèle à un phénomène, à **connaître** ses conditions de validité. Les résultats expérimentaux sont **analysés** et **confrontés** aux prévisions d'un modèle, lui-même travaillé grâce à des simulations qui peuvent à leur tour permettre de proposer des expérimentations.

Autre composante essentielle de la démarche scientifique, la **démarche expérimentale** joue un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle établit un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures - toujours entachées d'erreurs aléatoires quand ce ne sont pas des erreurs systématiques - ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La maîtrise de la précision dans le contexte des activités expérimentales est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle participe à l'éducation des élèves à la construction d'une vision critique des informations données sous forme numérique, à la possibilité de les confronter à une norme, éducation indispensable pour l'évaluation des risques et la prise de décision.

Les **activités expérimentales** menées par les élèves sont un moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi de notions et de concepts. Associée à un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique, l'activité expérimentale, menée dans l'environnement du laboratoire, conduit notamment l'élève à **s'approprier** la problématique du travail à effectuer, à maîtriser l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée), à **justifier** ou à **proposer** un protocole, à **mettre en œuvre** un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. L'élève doit porter un regard critique sur les résultats en identifiant les sources d'erreurs et en estimant l'incertitude sur les mesures.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre autonome et apte à prendre des initiatives et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents.

Ainsi, l'approche expérimentale ne peut se concevoir que si les conditions indispensables à une activité concrète, authentique et en toute sécurité sont réunies.

La pratique scientifique nécessite l'utilisation d'un langage spécifique. L'élève doit donc pouvoir :

- s'exprimer avec un langage scientifique rigoureux ;
- choisir des unités adaptées aux grandeurs physiques étudiées ;
- utiliser l'analyse dimensionnelle ;
- évaluer les ordres de grandeur d'un résultat.

Ces compétences sont indissociables des compétences mathématiques nécessaires. De plus, en devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à pratiquer une activité de communication susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières, orales et écrites, en langue française, mais aussi en anglais, langue de communication internationale dans le domaine scientifique.

L'usage adapté des Tic

La physique et la chimie fournissent naturellement l'occasion d'acquérir des compétences dans l'utilisation des Tic, certaines étant spécifiques à la discipline et d'autres d'une portée plus générale.

Outre la recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique, qui requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'internet, l'activité expérimentale doit s'appuyer avec profit sur l'expérimentation assistée par ordinateur, la saisie et le traitement des mesures.

L'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales peut ainsi permettre de dégager du temps pour la réflexion, en l'ouvrant aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience. La simulation est l'une des modalités de la démarche scientifique susceptible d'être mobilisée par le professeur ou par les élèves eux-mêmes.

L'usage de caméras numériques, de dispositifs de projection, de tableaux interactifs et de logiciels généralistes ou spécialisés doit être encouragé.

Les travaux pédagogiques et les réalisations d'élèves gagneront à s'insérer dans le cadre d'un environnement numérique de travail (ENT), au cours ou en dehors des séances.

Il faudra toutefois veiller à ce que l'usage des Tic, comme auxiliaire de l'activité didactique, ne se substitue pas à une activité expérimentale directe et authentique.

Outre les sites ministériels, les sites académiques recensent des travaux de groupes nationaux, des ressources thématiques (Édubase), des adresses utiles sur les usages pédagogiques des Tic.

Présentation du programme

Pour des raisons d'efficacité pédagogique, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et des concepts, se déploiera à partir d'objets techniques, professionnels, familiers ou à partir de procédés simples ou complexes, emblématiques du monde contemporain. Cette approche crée un contexte d'apprentissage stimulant, susceptible de mobiliser les élèves autour d'activités pratiques, et permettant de développer des compétences variées. Cela fournira aussi l'occasion de montrer comment les sciences physiques et chimiques peuvent contribuer à une meilleure prise de conscience des enjeux environnementaux et à l'éducation au développement durable.

Le programme est construit autour de trois concepts-clés de physique et de chimie **l'énergie, la matière et l'information**.

L'énergie est au cœur de la vie quotidienne et de tous les systèmes techniques. Les grandes questions autour des « économies d'énergie » et plus largement de développement durable ne peuvent trouver de réponse qu'avec une maîtrise de ce concept et des lois qui lui sont attachées. Le programme permet, à travers de nombreux exemples, de mettre en évidence les notions de conservation et de qualité (et donc de dégradation) de l'énergie, les notions de transfert d'énergie, de conversion d'énergie et de rendement.

Pour ce qui concerne **la matière**, omniprésente sous forme minérale ou organique, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique, le programme enrichit les modèles relatifs à sa constitution et à ses transformations. À travers l'étude de différents matériaux rencontrés dans la vie courante sont abordées les notions de liaisons, de macromolécules et d'interactions intermoléculaires pour rendre compte de propriétés macroscopiques spécifiques. Les transformations de la matière abordent les problématiques liées à la synthèse, les bilans de matière (lois de conservation) et les différents effets associés aux transformations physiques, chimiques et nucléaires (transfert thermique, travail électrique, rayonnement, travail mécanique). Les élèves sont sensibilisés au risque chimique et à la sauvegarde de l'environnement.

La prise **d'information**, son traitement et son utilisation sont présentes dans quasiment tous les dispositifs que ce soit pour l'optimisation de l'utilisation des ressources dans l'habitat ou dans le transport, pour l'aide à la conduite, ou dans le diagnostic médical. L'étude des chaînes d'information sera l'occasion de montrer que celle-ci peut être transportée par différentes grandeurs physiques, de faire le lien entre les capteurs et les lois physiques mises en œuvre, d'étudier la structure d'une chaîne d'information.

Ces concepts sont introduits à travers quatre thèmes :

- **habitat** : ce thème donne la possibilité d'étudier la gestion de l'énergie (sous forme électrique, thermique, solaire, chimique), l'éclairage, les fluides et la communication ;
- **vêtement et revêtement** : ce thème donne l'occasion de s'intéresser à l'obtention des polymères. Il aborde quelques-unes des propriétés innovantes de ces matériaux mises en relation avec leur structure microscopique ;
- **transport** : ce thème permet de mettre en place les outils nécessaires à l'étude du mouvement d'un véhicule, d'étudier différents types de motorisation (thermique et électrique), ainsi que des dispositifs de sécurité et d'assistance à la conduite ;
- **santé** : l'étude des outils du diagnostic fournit l'opportunité d'aborder les ondes sonores, les ondes électromagnétiques et la radioactivité. La prévention est abordée par le biais de l'étude des antiseptiques et des désinfectants et des dispositifs de protection pour les yeux et les oreilles.

L'objectif est de montrer que des **lois** importantes régissent le comportement d'objets ou de systèmes et permettent de prévoir des évolutions et des états finaux : lois de conservation de la matière et de l'énergie.

Ces thèmes font parfois appel aux mêmes concepts. Le professeur peut ainsi réinvestir, dans d'autres contextes, les connaissances et les capacités déjà introduites et travaillées lors de l'étude d'un autre thème.

Ce programme est présenté selon deux colonnes intitulées :

- **Notions et contenus** : il s'agit des notions et des concepts scientifiques à construire ;
- **Capacités** : il s'agit des capacités que les élèves doivent maîtriser en fin de cycle.

Il convient de ne pas procéder à une lecture linéaire de ce programme, mais de proposer une progression qui :

- s'appuie sur les acquis des élèves au collège et en seconde, ce qui peut nécessiter la mise en place d'une évaluation diagnostique ;
- est organisée autour des thèmes ;
- vise la mise en œuvre par les élèves des compétences présentées ci-dessus.



Physique-chimie - classe de 1ère des séries STI2D et STL
Habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Gestion de l'énergie dans l'habitat	
Énergie ; puissance. Conservation de l'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer différentes formes d'énergie présentes dans l'habitat. - Exprimer la relation puissance-énergie. - Donner des ordres de grandeur des puissances mises en jeu dans l'habitat.
Énergie interne ; température. Capacité thermique massique.	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer des températures. - Citer les deux échelles principales de températures et les unités correspondantes. - Associer la température à l'agitation interne des constituants microscopiques. - Associer l'échauffement d'un système à l'énergie reçue, stockée sous forme d'énergie interne. - Exprimer la variation d'énergie interne d'un solide ou d'un liquide lors d'une variation de température. - Définir la capacité thermique massique.
Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique, résistance thermique. Caractéristiques thermiques des matériaux.	<ul style="list-style-type: none"> - Prévoir le sens d'un transfert thermique entre deux systèmes dans des cas concrets ainsi que leur état final. - Décrire qualitativement les trois modes de transferts thermiques en citant des exemples. - Réaliser expérimentalement le bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire. - Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps et sa température. - Citer le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière est maximale. - Mesurer l'énergie échangée par transfert thermique.
Énergie et puissance électriques : tension, intensité. Propriétés électriques des matériaux Dipôles passifs et dipôles actifs. Effet joule. Énergie stockée dans un condensateur, dans une bobine.	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser un circuit électrique d'après un schéma donné. - Effectuer expérimentalement un bilan énergétique dans un circuit électrique simple. - Analyser les échanges d'énergie dans un circuit électrique. - Mesurer une tension électrique, une intensité électrique dans un circuit en régime continu ainsi que dans un circuit en régime sinusoïdal. - Visualiser une représentation temporelle de ces grandeurs et en analyser les caractéristiques. - Utiliser les conventions d'orientation permettant d'algébriser tensions et intensités. - Mesurer et calculer la puissance et l'énergie électriques reçues par un récepteur. - Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles.
Transport et distribution de l'énergie électrique. Protection contre les risques du courant électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les caractéristiques essentielles du réseau de distribution électrique européen ; représenter le schéma simplifié de l'organisation du transport et de la distribution de l'énergie électrique. - Citer le rôle d'un transformateur de tension. - Citer les principaux effets physiologiques du courant électrique. - Citer des dispositifs de protection contre les risques du courant électrique et l'ordre de grandeur du seuil de dangerosité des tensions.

<p>Énergie chimique : Transformation chimique d'un système et effets thermiques associés. Combustions ; combustibles ; comburants. Avancement et bilan de matière Pouvoir calorifique d'un combustible. Protection contre les risques des combustions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les pouvoirs calorifiques des différents combustibles au service de l'habitat. - Écrire l'équation chimique de la réaction de combustion d'un hydrocarbure ou d'un biocarburant et effectuer un bilan de matière. - Montrer expérimentalement que, lors d'une combustion, le système transfère de l'énergie au milieu extérieur sous forme thermique et estimer la valeur de cette énergie libérée. - Associer à une transformation exothermique une diminution de l'énergie du système chimique. - Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection.
<p>Chaînes énergétiques. Rendement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Schématiser simplement les transferts ou les transformations d'énergie mises en jeu au sein d'un habitat. - Réaliser un bilan énergétique.
L'éclairage	
<p>Sources lumineuses. Flux lumineux ; longueur d'onde, couleur et spectre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un capteur de lumière pour mesurer un flux lumineux - Positionner sur une échelle de longueurs d'ondes les spectres de différentes lumières : visible, infrarouge et ultraviolette. - Relier les unités photométriques à la sensibilité de l'œil humain. - Exploiter les caractéristiques d'une source d'éclairage artificiel : efficacité énergétique, classe d'efficacité énergétique ; température de couleur, indice de rendu des couleurs (IRC).
Confort acoustique	
<p>Ondes sonores et ultrasonores ; propagation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Définir et mesurer quelques grandeurs physiques associées à une onde sonore ou ultrasonore : pression acoustique, amplitude, période, fréquence, célérité, longueur d'onde. - Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore. - Donner l'ordre de grandeur de la célérité du son dans quelques milieux : air, liquide, solide.
<p>Puissance et intensité sonore ; niveau ; Transmission, absorption, réflexion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle : l'intensité et la fréquence d'un son. - Citer les seuils de perception de l'oreille humaine. - Définir et mesurer le niveau sonore. Citer l'unité correspondante : le décibel (dB). - Mettre en évidence expérimentalement les phénomènes de réflexion, de transmission ou d'absorption d'un son ou d'un ultrason pour différents matériaux.



Vêtement et revêtement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Matériaux polymères	
Matériaux naturels, artificiels. Squelettes carbonés et groupes caractéristiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer les matériaux naturels des matériaux artificiels. - Reconnaître les groupes caractéristiques des fonctions alcool, acide, amine, ester, amide.
Liaisons covalentes simple et double, formule de Lewis. Interactions intermoléculaires, structure des polymères et propriétés mécaniques et thermiques. Réactions de polymérisation : du monomère au polymère. Masse molaire moléculaire, degré de polymérisation, Polymères utilisés dans les vêtements et revêtements : production, utilisation, recyclage.	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire à l'aide des règles du duet et de l'octet les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H, Cl, F et S). - Distinguer les liaisons covalentes des interactions intermoléculaires, utiliser ces notions pour justifier de propriétés spécifiques. - Relier les propriétés mécaniques et thermiques d'un matériau polymère à sa structure microscopique. - Associer un modèle moléculaire et une formule développée. - Retrouver les monomères à partir de la formule d'un polymère. - Écrire l'équation d'une réaction de polymérisation. - Distinguer la polymérisation par addition de la polymérisation par condensation. - Réaliser la synthèse d'un polymère synthétique ou d'un polymère à partir de substances naturelles. - Rechercher, extraire et exploiter des informations relatives à la production industrielle, l'utilisation et l'éventuel recyclage de quelques polymères usuels, utilisés comme vêtement ou revêtement.
Analyser des risques : cette partie sera toujours contextualisée sur les notions et contenus abordés	
Règlement CLP européen, produits inflammables, point éclair, toxicité des composés, VME, VLE, dose létale.	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître les pictogrammes, les classes de danger, et les conseils de prudence et de prévention. - Adapter son attitude aux pictogrammes et aux étiquettes des espèces chimiques.
Propriétés des matériaux	
Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Conductivité thermique des matériaux. Résistance thermique.	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire qualitativement les trois modes de transferts thermiques en citant des exemples. - Classer des matériaux selon leurs propriétés isolantes, leur conductivité thermique étant donnée. - Définir la résistance thermique. - Déterminer la résistance thermique globale d'une paroi d'un système constitué de différents matériaux.

Transport

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mise en mouvement	
Référentiels, trajectoires, vitesse, vitesse angulaire, accélération.	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer des vitesses et des accélérations. - Écrire et appliquer la relation entre distance parcourue et vitesse dans un mouvement de translation à vitesse ou à accélération constante. - Citer des ordres de grandeurs de vitesses et d'accélérations. - Écrire et appliquer la relation entre vitesse et vitesse angulaire. - Écrire et appliquer la relation donnant l'angle balayé dans un mouvement de rotation à vitesse angulaire constante.
Énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation. Énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation ; moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe. Énergie potentielle de pesanteur. Énergie potentielle élastique. Énergie mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> - Écrire et exploiter les relations de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation. - Prévoir les effets d'une modification de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation ou de rotation. - Analyser des variations de vitesse en termes d'échanges entre énergie cinétique et énergie potentielle. - Exprimer et utiliser l'énergie mécanique d'un solide en mouvement. - Analyser un mouvement en termes de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique et en terme de puissance moyenne.

Santé

Notions et contenus	Capacités exigibles
Quelques outils du diagnostic médical	
Ondes mécaniques : ondes progressives.	<ul style="list-style-type: none"> - Associer la propagation d'une onde à un transfert d'énergie sans déplacement de matière. - Distinguer une onde longitudinale d'une onde transversale. - Définir quelques grandeurs physiques associées à une onde mécanique : célérité, amplitude, période, fréquence, longueur d'onde.
Onde ultra sonore - Transducteur ultrasonore. Réflexion - Transmission	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer la célérité d'une onde sonore ou ultrasonore. - Déterminer expérimentalement des distances à partir de la propagation d'un signal. - Associer les énergies transmises et réfléchies à la nature des différents milieux.
Ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence, leur longueur d'onde dans le vide et leur énergie.
Absorption et transmission des ondes électromagnétiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser qualitativement l'influence d'un milieu sur la transmission d'une onde électromagnétique.
Prévention et soin	
Le rayonnement laser. Protection contre les risques du rayonnement laser.	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire d'une documentation les principales caractéristiques d'un laser et les différents types de soins effectués à l'aide des lasers. - Mettre en évidence expérimentalement les propriétés d'un faisceau laser en respectant les consignes de sécurité.
Antiseptiques et désinfectants.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les principaux antiseptiques et désinfectants usuels et montrer expérimentalement le caractère oxydant d'un antiseptique.



Réactions d'oxydo-réduction et transferts d'électrons	<ul style="list-style-type: none"> - Définir les termes suivant : oxydant, réducteur, oxydation, réduction, couple oxydant/réducteur. - Écrire une réaction d'oxydoréduction, les couples oxydant/réducteur étant donnés.
Concentrations massique et molaire.	<ul style="list-style-type: none"> - Préparer une solution d'antiseptique de concentration molaire donnée par dissolution ou dilution. - Doser par comparaison une solution d'antiseptique.
Ondes sonores ; propagation.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir et mesurer quelques grandeurs physiques associées à une onde sonore : pression acoustique, amplitude, période, fréquence, célérité, longueur d'onde. - Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore. - Donner l'ordre de grandeur de la célérité du son dans quelques milieux : air, liquide, solide.
Puissance et intensité sonore ; niveau ; Transmission, absorption, réflexion.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle : l'intensité et la fréquence d'un son. - Citer les seuils de perception auditive de l'oreille humaine. - Définir et mesurer les niveaux sonores. Citer l'unité correspondante : le décibel (dB). - Mettre en évidence expérimentalement les phénomènes de réflexion, de transmission ou d'absorption d'un son pour différents matériaux.

Enseignement de physique-chimie des séries sciences et technologies de l'industrie et du développement durable et sciences et technologies de laboratoire, spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire - classe terminale

NOR : MENE1121679A

arrêté du 2-8-2011 - J.O. du 26-8-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du Comité interprofessionnel consultatif du 1-7-2011 ; avis du CSE du 7-7-2011

Article 1 - Le programme de l'enseignement de physique-chimie en classe terminale des séries sciences et technologies de l'industrie et du développement durable et sciences et technologies de laboratoire - spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2012-2013.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 2 août 2011

Pour le ministre de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative
et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Programme de l'enseignement obligatoire de physique-chimie

Classe terminale des séries technologiques STI2D et STL, spécialité SPCL

Les objectifs et les démarches de l'enseignement de physique-chimie des séries STI2D et STL se situent dans le prolongement de l'initiation aux sciences physiques et chimiques entreprise au collège puis en classe de seconde et de première. Au travers de l'apprentissage de la démarche scientifique, cet enseignement vise l'acquisition ou le renforcement chez les élèves de connaissances des lois et des modèles physiques et chimiques fondamentaux, de compétences expérimentales et d'une méthodologie de résolution de problèmes dans les domaines en lien avec les technologies industrielles ou de laboratoire, sans spécialisation excessive. Il doit permettre aux élèves d'accéder à des poursuites d'études supérieures scientifiques et technologiques dans de nombreuses spécialités et d'y réussir, puis de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles. L'accent est donc mis sur l'acquisition d'une culture scientifique, de notions et de compétences pérennes pouvant être réinvesties dans le cadre d'une formation tout au long de la vie.

Depuis des siècles, les sciences ont contribué à apporter des réponses aux problèmes qui se sont posés à l'humanité et l'ont aidée à relever de véritables défis en contribuant largement au progrès technique ; elles permettent de mieux

comprendre le monde complexe qui est le nôtre et ses modes de fonctionnement, notamment ceux qui résultent de la technologie omniprésente.

Dans les séries technologiques STI2D et STL, les programmes d'enseignement privilégient une approche thématique ouverte sur les réalités contemporaines, permettant d'articuler les connaissances et les capacités fondamentales en les contextualisant. Cette démarche permet d'**identifier** des phénomènes et propriétés relevant du champ des sciences physiques et chimiques dans des réalisations technologiques, de **préciser** les problèmes qu'elles ont permis de résoudre, de **mettre en évidence** le rôle qu'elles ont joué dans l'élaboration des objets ou des systèmes simples, complexes ou innovants actuels, de **souligner** la place qu'elles peuvent et doivent tenir pour faire face aux grands défis de société.

Complémentaire, une mise en perspective historique fournit l'occasion de faire ressortir comment les allers-retours entre la technologie et les sciences physiques et chimiques ont permis de formidables inventions, découvertes et innovations scientifiques et technologiques. Celles-ci ont conduit à la réalisation de progrès techniques tout autant que de grandes avancées intellectuelles dans l'intelligibilité du monde réel.

De même que la science n'est pas faite de vérités intangibles et immuables, la technologie est en perpétuelle évolution. Qu'il s'agisse de la compréhension du monde pour le chercheur ou de la conception de nouveaux dispositifs pour l'ingénieur, leurs activités procèdent de démarches intellectuelles analogues ; il s'agit pour eux, à partir d'un questionnement, de rechercher des réponses ou des solutions à un problème, de les enrichir et de les faire évoluer avec le temps pour les rendre plus efficaces. Ces procédures entre travail conceptuel, modélisation et expérimentation constituent des composantes de la démarche scientifique.

Initier l'élève à la **démarche scientifique**, c'est lui permettre de développer des compétences nécessaires pour prendre des décisions raisonnables et éclairées dans les nombreuses situations nouvelles qu'il rencontrera tout au long de sa vie et, ainsi, le conduire à devenir un adulte libre, autonome et responsable.

Ces compétences nécessitent la maîtrise de capacités qui dépassent largement le cadre de l'activité scientifique :

- faire preuve d'initiative, de ténacité et d'esprit critique ;
- confronter ses représentations avec la réalité ;
- observer en faisant preuve de curiosité ;
- mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile fournie par une situation, une expérience ou un document ;
- raisonner, démontrer, argumenter, exercer son esprit d'analyse.

La **modélisation** est une composante essentielle de la démarche scientifique. Elle a pour objectif de représenter une réalité (en la simplifiant souvent) et de prévoir son comportement. Les activités pédagogiques proposées amènent l'élève à **associer** un modèle à un phénomène, à **connaître** ses conditions de validité. Les résultats expérimentaux sont **analysés et confrontés** aux prévisions d'un modèle, lui-même travaillé grâce à des simulations qui peuvent à leur tour permettre de proposer des expérimentations.

Autre composante essentielle de la démarche scientifique, la **démarche expérimentale** joue un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle établit un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures - toujours entachées d'erreurs aléatoires quand ce ne sont pas des erreurs systématiques - ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La maîtrise de la précision dans le contexte des activités expérimentales est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle participe à l'éducation des élèves à la construction d'une vision critique des informations données sous forme numérique, à la possibilité de les confronter à une norme, éducation indispensable pour l'évaluation des risques et la prise de décision.

Les **activités expérimentales** menées par les élèves sont un moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi de notions et de concepts. Associée à un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique, l'activité expérimentale, menée dans l'environnement du laboratoire, conduit notamment l'élève à **s'approprier** la

problématique du travail à effectuer, à maîtriser l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée), à **justifier** ou à **proposer** un protocole, à **mettre en œuvre** un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. L'élève doit porter un regard critique sur les résultats en identifiant les sources d'erreurs et en estimant l'incertitude sur les mesures.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre autonome et apte à prendre des initiatives et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents.

Ainsi, l'approche expérimentale ne peut se concevoir que si les conditions indispensables à une activité concrète, authentique et en toute sécurité sont réunies.

La pratique scientifique nécessite l'utilisation d'un langage spécifique. L'élève doit donc pouvoir :

- s'exprimer avec un langage scientifique rigoureux ;
- choisir des unités adaptées aux grandeurs physiques étudiées ;
- utiliser l'analyse dimensionnelle ;
- évaluer les ordres de grandeur d'un résultat.

Ces compétences sont indissociables des compétences mathématiques nécessaires. De plus, en devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à pratiquer une activité de communication susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières, orales et écrites, en langue française, mais aussi en anglais, langue de communication internationale dans le domaine scientifique.

L'usage adapté des Tic

La physique et la chimie fournissent naturellement l'occasion d'acquérir des compétences dans l'utilisation des Tic, certaines étant spécifiques à la discipline et d'autres d'une portée plus générale.

Outre la recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique, qui requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'internet, l'activité expérimentale doit s'appuyer avec profit sur l'expérimentation assistée par ordinateur, la saisie et le traitement des mesures.

L'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales peut ainsi permettre de dégager du temps pour la réflexion, en l'ouvrant aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience.

La simulation est l'une des modalités de la démarche scientifique susceptible d'être mobilisée par le professeur ou par les élèves eux-mêmes.

L'usage de caméras numériques, de dispositifs de projection, de tableaux interactifs et de logiciels généralistes ou spécialisés doit être encouragé.

Les travaux pédagogiques et les réalisations d'élèves gagneront à s'insérer dans le cadre d'un environnement numérique de travail (ENT), au cours ou en dehors des séances.

Il faudra toutefois veiller à ce que l'usage des Tic, comme auxiliaire de l'activité didactique, ne se substitue pas à une activité expérimentale directe et authentique.

Outre les sites ministériels, les sites académiques recensent des travaux de groupes nationaux, des ressources thématiques (Édubase), des adresses utiles sur les usages pédagogiques des Tic.

Présentation du programme

Ce programme est présenté selon deux colonnes intitulées :

- Notions et contenus : il s'agit des notions et des concepts scientifiques à construire ;
- Capacités exigibles : il s'agit des capacités que les élèves doivent maîtriser en fin de cycle.

Il convient de ne pas procéder à une lecture linéaire de ce programme, mais de proposer une progression qui :

- s'appuie sur les acquis des élèves en seconde et en première, ce qui peut nécessiter la mise en place d'une évaluation diagnostique ;
- est organisée autour des thèmes ;
- vise la mise en œuvre par les élèves des compétences présentées dans le préambule et des capacités exigibles

décrites dans le programme.

Pour des raisons d'efficacité pédagogique, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et des concepts, se déploiera à partir d'objets techniques, professionnels, familiers ou à partir de procédés simples ou complexes, emblématiques du monde contemporain. Cette approche crée un contexte d'apprentissage stimulant, susceptible de mobiliser les élèves autour d'activités pratiques et permettant de développer des compétences variées. Cela fournit aussi l'occasion de montrer comment les sciences physiques et chimiques peuvent contribuer à une meilleure prise de conscience des enjeux environnementaux et à l'éducation au développement durable.

Le programme est construit autour de trois concepts-clés de physique et de chimie : **l'énergie, la matière et l'information**.

L'énergie est au cœur de la vie quotidienne et de tous les systèmes techniques. Les grandes questions autour des « économies d'énergie » et plus largement de développement durable ne peuvent trouver de réponse qu'avec une maîtrise de ce concept et des lois qui lui sont attachées. Le programme permet, à travers de nombreux exemples, de mettre en évidence les notions de conservation et de qualité (et donc de dégradation) de l'énergie, les notions de transfert d'énergie, de conversion d'énergie et de rendement.

Pour ce qui concerne **la matière**, omniprésente sous forme minérale ou organique, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique, le programme enrichit les modèles relatifs à sa constitution et à ses transformations. À travers l'étude de différents matériaux rencontrés dans la vie courante sont abordées les notions de liaisons, de macromolécules et d'interactions intermoléculaires pour rendre compte de propriétés macroscopiques spécifiques. Les transformations de la matière abordent les problématiques liées à la synthèse, les bilans de matière (lois de conservation) et les différents effets associés aux transformations physiques, chimiques et nucléaires (transfert thermique, travail électrique, rayonnement, travail mécanique). Les élèves sont sensibilisés au risque chimique et à la sauvegarde de l'environnement.

La prise **d'information**, son traitement et son utilisation sont présentes dans quasiment tous les dispositifs, que ce soit pour l'optimisation de l'utilisation des ressources dans l'habitat ou dans le transport, pour l'aide au déplacement ou dans le domaine du diagnostic médical. L'étude des chaînes d'information sera l'occasion de montrer que l'information peut être transportée par différentes grandeurs physiques, de faire le lien entre les capteurs et les lois physiques mises en œuvre, d'étudier la structure d'une chaîne d'information.

Dans la continuité du programme de première de physique-chimie, ces concepts sont introduits à travers trois thèmes :

- **Habitat** : ce thème donne la possibilité d'étudier la gestion de l'énergie (sous forme électrique, thermique, solaire, chimique), les fluides et la communication. Ce sera aussi l'occasion de s'intéresser aux produits d'entretien utilisés.
- **Transport** : ce thème permet de mettre en place les outils nécessaires à l'étude du mouvement d'un système, d'étudier différents types de motorisation (thermique et électrique), ainsi que des dispositifs de sécurité et d'assistance au déplacement.
- **Santé** : l'étude des outils du diagnostic fournit l'opportunité d'aborder les ondes électromagnétiques et la radioactivité.

L'objectif est de montrer que des **lois** importantes régissent le comportement d'objets ou de systèmes et permettent de prévoir des évolutions et des états finaux : lois de conservation de la matière et de l'énergie.

Ces thèmes font parfois appel aux mêmes concepts. Le professeur peut ainsi réinvestir, dans d'autres contextes, les connaissances et les capacités déjà introduites et travaillées lors de l'étude d'un autre thème.

La pratique d'activités expérimentales permet aussi d'acquérir des compétences dans le domaine de la **mesure** et des **incertitudes**. En faisant prendre conscience à l'élève des causes de limitation de la précision, des sources d'erreurs et de leurs implications sur la qualité de la mesure pour finalement aboutir à la validation d'une loi ou d'un modèle, on développe l'esprit critique, la capacité d'analyse et l'attitude citoyenne. L'informatique peut jouer un rôle tout à fait particulier en fournissant aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des outils mathématiques utilisés.

Le tableau suivant résume les notions et capacités spécifiques relatives aux mesures et à leurs incertitudes que les élèves doivent **maîtriser** à la fin de la formation du lycée.

Ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme et ces capacités sont développées tout au long de l'année scolaire, dans le cadre des activités expérimentales. Elles ne font pas l'objet de séquences de cours spécifiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreurs et notions associées	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les différentes sources d'erreur (de limites à la précision) lors d'une mesure : variabilité du phénomène et de l'acte de mesure (facteurs liés à l'opérateur, aux instruments, etc.).
Incertitudes et notions associées	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. - Comparer le poids des différentes sources d'erreur. - Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie. - Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. - Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
Expression et acceptabilité du résultat	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture. - Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance. - Évaluer la précision relative. - Déterminer les mesures à conserver en fonction d'un critère donné. - Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence. - Faire des propositions pour améliorer la démarche.

Habitat

Gestion de l'énergie dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Énergie solaire : conversions photovoltaïque et thermique. Modèle corpusculaire de la lumière, le photon. Énergie d'un photon.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les modes d'exploitation de l'énergie solaire au service de l'habitat. - Schématiser les transferts et les conversions d'énergie mises en jeu dans un dispositif utilisant l'énergie solaire dans l'habitat ; donner des ordres de grandeur des échanges.

- Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.
- Mettre en œuvre une cellule photovoltaïque. Effectuer expérimentalement le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.

Les fluides dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Pression dans un fluide parfait et incompressible en équilibre : pressions absolue, relative et différentielle. Équilibre d'un fluide soumis à la pesanteur. Écoulement stationnaire. Débit volumique et massique.	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer des pressions (absolue et relative). - Citer et exploiter le principe fondamental de l'hydrostatique. - Expliciter la notion de vitesse moyenne d'écoulement dans une canalisation. - Mesurer un débit. - Citer et appliquer la loi de conservation de la masse.
États de la matière. Transfert thermiques et changements d'état. Transformations physiques et effets thermiques associés	<ul style="list-style-type: none"> - Différencier les différentes transformations liquide-vapeur pour l'eau : évaporation, ébullition. - Associer un changement d'état au niveau macroscopique à l'établissement ou la rupture d'interactions entre entités au niveau microscopique. - Utiliser un diagramme d'état (P, T) pour déterminer l'état d'un fluide lors d'une transformation. - Utiliser l'enthalpie de changement d'état pour effectuer un bilan énergétique.

La communication dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques. Spectre des ondes utilisées en communication. Champ électrique, champ magnétique.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence et leur longueur d'onde dans le vide. - Positionner le spectre des ondes utilisées pour les communications dans l'habitat. - Définir et mesurer les grandeurs physiques associées à une onde : période, fréquence, longueur d'onde, célérité. - Énoncer qu'une onde électromagnétique se propage dans le vide. - Décrire la structure d'une onde électromagnétique : champ magnétique, champ électrique. - Relier qualitativement le champ électrique d'une onde

	électromagnétique en un point à la puissance et à la distance de la source.
Mesure des grandeurs physiques dans l'habitat.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer quelques exemples de capteurs et de détecteurs utilisés dans l'habitat. - Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie ainsi que le phénomène physique auquel la grandeur d'entrée est sensible. - Distinguer les deux types de grandeurs : analogiques ou numériques. - Mettre en œuvre expérimentalement une chaîne de mesure simple utilisée en communication dans l'habitat.

Entretien et rénovation dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions acide-base et transferts de protons. Solutions acides, basiques. pH.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer des produits d'entretien couramment utilisés dans l'habitat (détartrants, déboucheurs, savons, détergents, désinfectants, dégraissants, etc.) ; reconnaître leur nature chimique et leur précaution d'utilisation (étiquette, pictogramme). - Définir les termes suivants : acide, base, couple acide-base. - Écrire une réaction acide-base, les couples acide-base étant donnés. - Citer le sens de variation du pH en fonction de l'évolution de la concentration en $H^+(aq)$.
Solubilisation. Solvants de nettoyage.	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir un solvant pour éliminer une espèce chimique à partir de données sur sa solubilité ou à partir d'une démarche expérimentale.

Transport

Mise en mouvement

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Actions mécaniques : forces, moment de force, couples et moment d'un couple.</p> <p>Transfert d'énergie par travail mécanique (force constante ; couple constant).</p> <p>Puissance moyenne.</p> <p>Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique.</p> <p>Frottements de contact entre solides ; action</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier, inventorier, caractériser et modéliser les actions mécaniques s'exerçant sur un solide. - Associer une variation d'énergie cinétique au travail d'une force ou d'un couple. - Relier l'accélération à la valeur de la résultante des forces extérieures ou au moment du couple résultant dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré. - Écrire et exploiter l'expression du travail d'une force constante ou

d'un fluide sur un solide en mouvement relatif.	d'un couple de moment constant. - Associer la force de résistance aérodynamique à une force de frottement fluide proportionnelle à la vitesse au carré et aux paramètres géométriques d'un objet en déplacement.
Transformation chimique et transfert d'énergie sous forme thermique. Combustion.	- Citer différents carburants utilisés et leur mode de production (pétrochimie, agrochimie, bio-industries, etc.). - Utiliser le modèle de la réaction pour prévoir les quantités de matière nécessaires et l'état final d'un système. - Déterminer expérimentalement l'énergie libérée au cours de la combustion d'un hydrocarbure, puis confronter à la valeur calculée à partir d'enthalpies de combustion tabulées. - Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection.
Transformation chimique et transfert d'énergie sous forme électrique. Piles, accumulateurs, piles à combustible.	- Citer les caractéristiques des piles et leurs évolutions technologiques. - Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur. - Écrire les équations des réactions aux électrodes. - Expliquer le fonctionnement d'une pile, d'un accumulateur, d'une pile à combustible. - Utiliser le modèle de la réaction pour prévoir la quantité d'électricité totale disponible dans une pile. - Associer charge et décharge d'un accumulateur à des transferts et conversions d'énergie. - Définir les conditions d'utilisation optimales d'une batterie d'accumulateurs : l'énergie disponible, le courant de charge optimum et le courant de décharge maximal.
Chaînes énergétiques. Énergie et puissance. Puissance absorbée ; puissance utile ; réversibilité ; rendement. Convertisseurs électromécaniques d'énergie ; réversibilité. Rendement de conversion.	- Décrire et schématiser les transferts ou les transformations d'énergie mises en jeu dans le déplacement d'un objet en mouvement en distinguant notamment les mouvements à accélération constante et les mouvements à vitesse constante. - Comparer des ordres de grandeur des énergies stockées dans différents réservoirs d'énergie. - Écrire et exploiter la relation entre une variation d'énergie et la puissance moyenne. - Évaluer l'autonomie d'un système mobile autonome ; la comparer aux données du constructeur. - Décrire les étapes conduisant de la combustion à l'énergie mécanique. Donner un ordre de grandeur du rendement. - Déterminer expérimentalement le rendement d'un moteur électrique. - Exploiter la caractéristique mécanique d'un moteur électrique et déterminer un point de fonctionnement.

Longévité et sécurité

Notions et contenus	Capacités exigibles
Des matériaux résistants : contraintes mécaniques et thermiques, corrosion.	<ul style="list-style-type: none">- Distinguer les différentes familles de matériaux présentes dans un dispositif de transport et relier leurs propriétés physico-chimiques à leur utilisation.- Illustrer le rôle des différents facteurs agissant sur la corrosion des métaux et le vieillissement des matériaux.- Prévoir différents moyens de protection et vérifier expérimentalement leur efficacité.

L'assistance au déplacement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesure des grandeurs physiques dans un dispositif de transport.	<ul style="list-style-type: none">- Citer quelques exemples de capteurs et de détecteurs utilisés dans un dispositif de transport.- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie ainsi que le phénomène physique auquel la grandeur d'entrée est sensible.- Distinguer les deux types de grandeurs : analogiques ou numériques.- Interpréter le spectre d'un signal périodique : déterminer la fréquence du fondamental, déterminer les harmoniques non nuls.- Mettre en œuvre expérimentalement une chaîne de mesure simple (conditionneur de capteur, conditionneur de signal, numérisation, etc.)

Santé**Quelques outils du diagnostic médical**

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR.	<ul style="list-style-type: none">- Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence, leur longueur d'onde dans le vide et leur énergie.- Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps et sa température.- Exploiter le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière est maximale.
Réflexion, absorption et transmission des ondes électromagnétiques.	<ul style="list-style-type: none">- Associer l'absorption d'une onde électromagnétique à la nature du milieu concerné.

<p>Champ magnétique : sources de champ magnétique (Terre, aimant, courant). Sources de champ magnétique intenses : électro-aimant supraconducteur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en évidence expérimentalement l'existence d'un champ magnétique et déterminer ses caractéristiques. - Citer quelques ordres de grandeur de champ magnétique.
--	--

Prévention et soin

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Radioactivité. Isotopes. Activité. Décroissance radioactive et demi-vie. Protection contre les risques de la radioactivité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les différents types de radioactivité et préciser la nature des particules émises ou des rayonnements émis. - Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes. - Positionner le rayonnement gamma dans le spectre des ondes électromagnétiques. - Interpréter les échanges d'énergie entre rayonnement et matière à l'aide du modèle corpusculaire. - Exploiter une courbe de décroissance radioactive et le temps de demi-vie d'une espèce radioactive. - Citer l'unité de mesure de la dose d'énergie absorbée. - Citer les risques liés aux espèces radioactives et exploiter une documentation pour choisir des modalités de protection.

Enseignement de physique-chimie de la série sciences et technologies de laboratoire, spécialité biotechnologies - classe terminale

NOR : MENE1121696A

arrêté du 2-8-2011 - J.O. du 26-8-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'éducation ; arrêté du 27-5-2010 relatif ; avis du Comité interprofessionnel consultatif du 1-7-2011 ; avis du CSE du 7-7-2011

Article 1 - Le programme de l'enseignement de physique-chimie en classe terminale de la série sciences et technologies de laboratoire - spécialité biotechnologies est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2012-2013.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 2 août 2011

Pour le ministre de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative
et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Programme d'enseignement de physique-chimie

Classe terminale de la série technologique STL, spécialité biotechnologies

Les objectifs et les démarches de l'enseignement de physique-chimie de la série STL (spécialité biotechnologies) se situent dans le prolongement de l'initiation aux sciences physiques et chimiques entreprise au collège puis en classe de seconde et de première. Au travers de l'apprentissage de la démarche scientifique, cet enseignement vise l'acquisition ou le renforcement chez les élèves de connaissances des lois et des modèles physiques et chimiques fondamentaux, de compétences expérimentales et d'une méthodologie de résolution de problèmes dans les domaines en lien avec les technologies industrielles ou de laboratoire, sans spécialisation excessive. Il doit permettre aux élèves d'accéder à des poursuites d'études supérieures scientifiques et technologiques dans de nombreuses spécialités et d'y réussir, puis de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles. L'accent est donc mis sur l'acquisition d'une culture scientifique, de notions et de compétences pérennes pouvant être réinvesties dans le cadre d'une formation tout au long de la vie.

Depuis des siècles, les sciences ont contribué à apporter des réponses aux problèmes qui se sont posés à l'humanité et l'ont aidée à relever de véritables défis en contribuant largement au progrès technique ; elles permettent de mieux comprendre le monde complexe qui est le nôtre et ses modes de fonctionnement, notamment ceux qui résultent de la technologie omniprésente.

Dans la série technologique STL (spécialité biotechnologies), le programme d'enseignement privilégie une approche

thématique ouverte sur les réalités contemporaines, permettant d'articuler les connaissances et les capacités fondamentales en les contextualisant grâce à des mises en situation ou des applications dans des domaines relevant de la spécialité biotechnologie. Cette démarche permet d'**identifier** des phénomènes et propriétés relevant du champ des sciences physiques et chimiques dans des réalisations technologiques, de **préciser** les problèmes qu'elles ont permis de résoudre, de **mettre en évidence** le rôle qu'elles ont joué dans l'élaboration des objets ou des systèmes simples, complexes ou innovants actuels, de **souligner** la place qu'elles peuvent et doivent tenir pour faire face aux grands défis de société.

Complémentaire, une mise en perspective historique fournit l'occasion de faire ressortir comment les allers-retours entre la technologie et les sciences physiques et chimiques ont permis de formidables inventions, découvertes et innovations scientifiques et technologiques. Celles-ci ont conduit à la réalisation de progrès techniques tout autant que de grandes avancées intellectuelles dans l'intelligibilité du monde réel.

De même que la science n'est pas faite de vérités intangibles et immuables, la technologie est en perpétuelle évolution. Qu'il s'agisse de la compréhension du monde pour le chercheur ou de la conception de nouveaux dispositifs pour l'ingénieur, leurs activités procèdent de démarches intellectuelles analogues ; il s'agit pour eux, à partir d'un questionnement, de rechercher des réponses ou des solutions à un problème, de les enrichir et de les faire évoluer avec le temps pour les rendre plus efficaces. Ces procédures entre travail conceptuel, modélisation et expérimentation constituent des composantes de la démarche scientifique.

Initier l'élève à la **démarche scientifique**, c'est lui permettre de développer des compétences nécessaires pour prendre des décisions raisonnables et éclairées dans les nombreuses situations nouvelles qu'il rencontrera tout au long de sa vie et, ainsi, le conduire à devenir un adulte libre, autonome et responsable.

Ces compétences nécessitent la maîtrise de capacités qui dépassent largement le cadre de l'activité scientifique :

- faire preuve d'initiative, de ténacité et d'esprit critique ;
- confronter ses représentations avec la réalité ;
- observer en faisant preuve de curiosité ;
- mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile fournie par une situation, une expérience ou un document ;
- raisonner, démontrer, argumenter, exercer son esprit d'analyse.

La **modélisation** est une composante essentielle de la démarche scientifique. Elle a pour objectif de représenter une réalité (en la simplifiant souvent) et de prévoir son comportement. Les activités pédagogiques proposées amènent l'élève à **associer** un modèle à un phénomène, à **connaître** ses conditions de validité. Les résultats expérimentaux sont **analysés et confrontés** aux prévisions d'un modèle, lui-même travaillé grâce à des simulations qui peuvent à leur tour permettre de proposer des expérimentations.

Autre composante essentielle de la démarche scientifique, la **démarche expérimentale** joue un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle établit un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures - toujours entachées d'erreurs aléatoires quand ce ne sont pas des erreurs systématiques - ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La maîtrise de la précision dans le contexte des activités expérimentales est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle participe à l'éducation des élèves à la construction d'une vision critique des informations données sous forme numérique, à la possibilité de les confronter à une norme, éducation indispensable pour l'évaluation des risques et la prise de décision.

Les **activités expérimentales** menées par les élèves sont un moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi de notions et de concepts. Associée à un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique, l'activité expérimentale, menée dans l'environnement du laboratoire, conduit notamment l'élève à **s'approprier** la problématique du travail à effectuer, à maîtriser l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée), à **justifier** ou à **proposer** un protocole, à **mettre en œuvre** un protocole expérimental en respectant les règles de

sécurité. L'élève doit porter un regard critique sur les résultats en identifiant les sources d'erreurs et en estimant l'incertitude sur les mesures.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre autonome et apte à prendre des initiatives et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents.

Ainsi, l'approche expérimentale ne peut se concevoir que si les conditions indispensables à une activité concrète, authentique et en toute sécurité sont réunies.

La pratique scientifique nécessite l'utilisation d'un langage spécifique. L'élève doit donc pouvoir :

- s'exprimer avec un langage scientifique rigoureux ;
- choisir des unités adaptées aux grandeurs physiques étudiées ;
- utiliser l'analyse dimensionnelle ;
- évaluer les ordres de grandeur d'un résultat.

Ces compétences sont indissociables des compétences mathématiques nécessaires. De plus, en devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à pratiquer une activité de communication susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières, orales et écrites, en langue française, mais aussi en anglais, langue de communication internationale dans le domaine scientifique.

L'usage adapté des Tic

La physique et la chimie fournissent naturellement l'occasion d'acquérir des compétences dans l'utilisation des Tic, certaines étant spécifiques à la discipline et d'autres d'une portée plus générale.

Outre la recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique, qui requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'internet, l'activité expérimentale doit s'appuyer avec profit sur l'expérimentation assistée par ordinateur, la saisie et le traitement des mesures.

L'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales peut ainsi permettre de dégager du temps pour la réflexion, en l'ouvrant aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience. La simulation est l'une des modalités de la démarche scientifique susceptible d'être mobilisée par le professeur ou par les élèves eux-mêmes.

L'usage de caméras numériques, de dispositifs de projection, de tableaux interactifs et de logiciels généralistes ou spécialisés doit être encouragé.

Les travaux pédagogiques et les réalisations d'élèves gagneront à s'insérer dans le cadre d'un environnement numérique de travail (ENT), au cours ou en dehors des séances.

Il faudra toutefois veiller à ce que l'usage des Tic, comme auxiliaire de l'activité didactique, ne se substitue pas à une activité expérimentale directe et authentique.

Outre les sites ministériels, les sites académiques recensent des travaux de groupes nationaux, des ressources thématiques (Édubase), des adresses utiles sur les usages pédagogiques des Tic.

Présentation du programme

Ce programme est présenté selon deux colonnes intitulées :

- Notions et contenus : il s'agit des notions et des concepts scientifiques à construire ;
- Capacités exigibles : il s'agit des capacités que les élèves doivent maîtriser en fin de cycle.

Il convient de ne pas procéder à une lecture linéaire de ce programme, mais de proposer une progression qui :

- s'appuie sur les acquis des élèves en seconde et en première, ce qui peut nécessiter la mise en place d'une évaluation diagnostique ;
- est organisée autour des thèmes ;
- vise la mise en œuvre par les élèves des compétences présentées dans le préambule et des capacités exigibles décrites dans le programme.

Pour des raisons d'efficacité pédagogique, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et

des concepts, se déploiera à partir d'objets techniques, professionnels, familiers ou à partir de procédés simples ou complexes, emblématiques du monde contemporain. Cette approche crée un contexte d'apprentissage stimulant, susceptible de mobiliser les élèves autour d'activités pratiques et permettant de développer des compétences variées. Cela fournit aussi l'occasion de montrer comment les sciences physiques et chimiques peuvent contribuer à une meilleure prise de conscience des enjeux environnementaux et à l'éducation au développement durable. Le programme est construit autour de trois concepts-clés de physique et de chimie : **l'énergie, la matière et l'information**.

L'**énergie** est au cœur de la vie quotidienne et de tous les systèmes techniques. Les grandes questions autour des « économies d'énergie » et plus largement du développement durable ne peuvent trouver de réponse qu'avec une maîtrise de ce concept et des lois qui lui sont attachées. Le programme permet, à travers de nombreux exemples, de mettre en évidence les notions de conservation et de qualité (et donc de dégradation) de l'énergie, les notions de transfert d'énergie, de conversion d'énergie et de rendement.

Pour ce qui concerne la **matière**, omniprésente sous forme minérale ou organique, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique, dans les systèmes inertes ou vivants, le programme enrichit les modèles relatifs à sa constitution et à ses transformations. À travers l'étude de différents matériaux sont abordées les notions de liaisons, de macromolécules et d'interactions intermoléculaires pour rendre compte de propriétés macroscopiques spécifiques. Les transformations de la matière abordent les problématiques liées à la synthèse, les bilans de matière (lois de conservation) et les différents effets associés aux transformations physiques, chimiques et nucléaires (transfert thermique, travail électrique, rayonnement, travail mécanique). Les élèves sont sensibilisés au risque chimique et à la sauvegarde de l'environnement.

La prise d'**information**, son traitement et son utilisation sont présents dans quasiment tous les dispositifs que ce soit pour l'optimisation de l'utilisation des ressources dans des locaux professionnels, pour la gestion de déplacement de matière ou de personne ou dans le domaine du diagnostic médical. L'étude des chaînes d'information sera l'occasion de montrer que l'information peut être transportée par différentes grandeurs physiques, de faire le lien entre les capteurs et les lois physiques mises en œuvre, d'étudier la structure d'une chaîne d'information.

Dans la continuité du programme de première de physique-chimie, ces concepts sont introduits à travers trois thèmes :

- **Locaux professionnels** : ce thème prolonge le thème habitat abordé en première et donne la possibilité d'étudier la gestion de l'énergie (sous forme électrique, thermique, solaire, chimique), les fluides et la communication, en particulier dans les locaux professionnels. Des liens ou des transpositions pourront être faits avec la gestion de l'énergie des dispositifs (réacteurs, autoclaves, réfrigérateurs, etc.) présents dans les laboratoires de physique, de chimie et de biologie ainsi que dans les différentes unités de production et d'analyse dans les bio-industries. Ce sera aussi l'occasion de s'intéresser aux produits d'entretien utilisés dans ces locaux.
- **Déplacement de matière ou de personne** : ce thème prolonge le thème transport abordé en première et permet de mettre en place les outils nécessaires à l'étude du mouvement, des différents types de motorisation (thermique et électrique) ainsi que des dispositifs de sécurité et de contrôle des déplacements.
- **Imagerie médicale, exploration fonctionnelle et radiothérapie** : ce thème prolonge celui de la santé étudié en première et fournit l'opportunité d'aborder l'utilisation des ondes électromagnétiques dans l'imagerie médicale et de la radioactivité dans l'exploration fonctionnelle et la radiothérapie.

L'objectif est de montrer que des lois importantes régissent le comportement d'objets ou de systèmes et permettent de prévoir des évolutions et des états finaux : lois de conservation de la matière et de l'énergie.

Ces thèmes font parfois appel aux mêmes concepts. Le professeur peut ainsi réinvestir, dans d'autres contextes, les connaissances et les capacités déjà introduites et travaillées lors de l'étude d'un autre thème.

La pratique d'activités expérimentales permet aussi d'acquérir des compétences dans le domaine de la **mesure** et des **incertitudes**. En faisant prendre conscience à l'élève des causes de limitation de la précision, des sources d'erreurs et de leurs implications sur la qualité de la mesure pour finalement aboutir à la validation d'une loi ou d'un

modèle, on développe l'esprit critique, la capacité d'analyse et l'attitude citoyenne. L'informatique peut jouer un rôle tout à fait particulier en fournissant aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des outils mathématiques utilisés.

Le tableau suivant résume les notions et capacités spécifiques relatives aux mesures et à leurs incertitudes que les élèves doivent **maîtriser** à la fin de la formation du lycée.

Ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme et ces capacités sont développées tout au long de l'année scolaire, dans le cadre des activités expérimentales. Elles ne font pas l'objet de séquences de cours spécifiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreurs et notions associées	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les différentes sources d'erreur (de limites à la précision) lors d'une mesure : variabilité du phénomène et de l'acte de mesure (facteurs liés à l'opérateur, aux instruments, etc.).
Incertitudes et notions associées	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. - Comparer le poids des différentes sources d'erreur. - Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie. - Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. - Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
Expression et acceptabilité du résultat	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture. - Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance. - Évaluer la précision relative. - Déterminer les mesures à conserver en fonction d'un critère donné. - Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence. - Faire des propositions pour améliorer la démarche.

Locaux professionnels

Gestion de l'énergie

Notions et contenus	Capacités exigibles
Énergie solaire : conversions photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les modes d'exploitation de l'énergie solaire.

et thermique. Modèle corpusculaire de la lumière, le photon. Énergie d'un photon.	<ul style="list-style-type: none"> - Schématiser les transferts et les conversions d'énergie mises en jeu dans un dispositif utilisant l'énergie solaire ; donner des ordres de grandeur des échanges. - Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. - Mettre en œuvre une cellule photovoltaïque. Effectuer expérimentalement le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.
---	---

Gestion des fluides

Notions et contenus	Capacités exigibles
Pression dans un fluide parfait et incompressible en équilibre : pressions absolue, relative et différentielle. Équilibre d'un fluide soumis à la pesanteur. Écoulement stationnaire. Débit volumique et massique.	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer des pressions (absolue et relative). - Citer et exploiter le principe fondamental de l'hydrostatique. - Expliciter la notion de vitesse moyenne d'écoulement dans une canalisation. - Mesurer un débit. - Citer et appliquer la loi de conservation de la masse.
États de la matière. Transfert thermiques et changements d'état. Transformations physiques et effets thermiques associés.	<ul style="list-style-type: none"> - Différencier les différentes transformations liquide-vapeur pour l'eau : évaporation, ébullition. - Associer un changement d'état au niveau macroscopique à l'établissement ou la rupture d'interactions entre entités au niveau microscopique. - Utiliser un diagramme d'état (P, T) pour déterminer l'état d'un fluide lors d'une transformation. - Utiliser l'enthalpie de changement d'état pour effectuer un bilan énergétique.

Gestion de la communication

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques. Spectre des ondes utilisées en communication. Champ électrique, champ magnétique.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence et leur longueur d'onde dans le vide. - Positionner le spectre des ondes utilisées pour les communications. - Définir et mesurer les grandeurs physiques associées à une onde : période, fréquence, longueur d'onde, célérité. - Énoncer qu'une onde électromagnétique se propage dans le vide. - Décrire la structure d'une onde électromagnétique : champ magnétique, champ électrique.

	<ul style="list-style-type: none"> - Relier qualitativement le champ électrique d'une onde électromagnétique en un point à la puissance et à la distance de la source.
Mesure des grandeurs physiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer quelques exemples de capteurs et de détecteurs utilisés dans les locaux professionnels. - Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie ainsi que le phénomène physique auquel la grandeur d'entrée est sensible. - Distinguer les deux types de grandeurs : analogiques ou numériques. - Mettre en œuvre expérimentalement une chaîne de mesure simple utilisée en communication dans des locaux professionnels.

Entretien et hygiène

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions acide-base et transferts de protons. Solutions acides, basiques. pH.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer des produits d'entretien couramment utilisés dans les locaux professionnels (détartrants, déboucheurs, savons, détergents, désinfectants, dégraissants, etc.) ; reconnaître leur nature chimique et leur précaution d'utilisation (étiquette, pictogramme). - Définir les termes suivants : acide, base, couple acide-base. - Écrire une réaction acide-base, les couples acide-base étant donnés. - Citer le sens de variation du pH en fonction de l'évolution de la concentration en $H^+(aq)$.
Solubilisation. Solvants de nettoyage.	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir un solvant pour éliminer une espèce chimique à partir de données sur sa solubilité ou à partir d'une démarche expérimentale.

Déplacement de matière ou de personne

Mise en mouvement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Actions mécaniques : forces, moment de force, couples et moment d'un couple. Transfert d'énergie par travail mécanique (force constante ; couple constant). Puissance moyenne. Conservation et non-conservation de	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier, inventorier, caractériser et modéliser les actions mécaniques s'exerçant sur un solide. - Associer une variation d'énergie cinétique au travail d'une force ou d'un couple. - Relier l'accélération à la valeur de la résultante des forces extérieures ou au moment du couple résultant dans le cas d'un

<p>l'énergie mécanique. Frottements de contact entre solides ; action d'un fluide sur un solide en mouvement relatif.</p>	<p>mouvement uniformément accéléré. - Écrire et exploiter l'expression du travail d'une force constante ou d'un couple de moment constant. - Associer la force de résistance aérodynamique à une force de frottement fluide proportionnelle à la vitesse au carré et aux paramètres géométriques d'un objet en déplacement.</p>
<p>Transformation chimique et transfert d'énergie sous forme thermique. Combustion.</p>	<p>- Citer différents carburants utilisés et leur mode de production (pétrochimie, agrochimie, bio-industrie, etc.). - Utiliser le modèle de la réaction pour prévoir les quantités de matière nécessaires et l'état final d'un système. - Déterminer expérimentalement l'énergie libérée au cours de la combustion d'un hydrocarbure ou d'un carburant oxygénée, puis confronter à la valeur calculée à partir d'enthalpies de combustion tabulées. - Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection.</p>
<p>Transformation chimique et transfert d'énergie sous forme électrique. Piles, accumulateurs, piles à combustible.</p>	<p>- Citer les caractéristiques des piles et leurs évolutions technologiques. - Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur. - Écrire les équations des réactions aux électrodes. - Expliquer le fonctionnement d'une pile, d'un accumulateur, d'une pile à combustible. - Utiliser le modèle de la réaction pour prévoir la quantité d'électricité totale disponible dans une pile. - Associer charge et décharge d'un accumulateur à des transferts et conversions d'énergie. - Définir les conditions d'utilisation optimales d'une batterie d'accumulateurs : l'énergie disponible, le courant de charge optimum et le courant de décharge maximal.</p>
<p>Chaînes énergétiques. Énergie et puissance. Puissance absorbée ; puissance utile ; réversibilité ; rendement. Convertisseurs électromécaniques d'énergie ; réversibilité. Rendement de conversion.</p>	<p>- Décrire et schématiser les transferts ou les transformations d'énergie mis en jeu dans le déplacement d'un objet en mouvement en distinguant notamment les mouvements à accélération constante et les mouvements à vitesse constante. - Comparer des ordres de grandeur des énergies stockées dans différents réservoirs d'énergie. - Écrire et exploiter la relation entre une variation d'énergie et la puissance moyenne. - Évaluer l'autonomie d'un système mobile autonome ; la comparer aux données du constructeur. - Décrire les étapes conduisant de la combustion à l'énergie mécanique. Donner un ordre de grandeur du rendement.</p>

- Déterminer expérimentalement le rendement d'un moteur électrique.
- Exploiter la caractéristique mécanique d'un moteur électrique et déterminer un point de fonctionnement.

Longévité et sécurité

Notions et contenus	Capacités exigibles
Des matériaux résistants : contraintes mécaniques et thermiques, corrosion.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer les différentes familles de matériaux présentes dans un dispositif assurant un déplacement de matière ou de personne et relier leurs propriétés physico-chimiques à leur utilisation. - Illustrer le rôle des différents facteurs agissant sur la corrosion des métaux et le vieillissement des matériaux. - Prévoir différents moyens de protection et vérifier expérimentalement leur efficacité.

L'assistance au déplacement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesure des grandeurs physiques dans un dispositif assurant un déplacement de matière ou de personne.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer quelques exemples de capteurs et de détecteurs utilisés dans un dispositif de déplacement de matière ou de personne. - Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie ainsi que le phénomène physique auquel la grandeur d'entrée est sensible. - Distinguer les deux types de grandeurs : analogiques ou numériques. - Interpréter le spectre d'un signal périodique : déterminer la fréquence du fondamental, déterminer les harmoniques non nuls. - Mettre en œuvre expérimentalement une chaîne de mesure simple (conditionneur de capteur, conditionneur de signal, numérisation, etc.).

Imagerie médicale, exploration fonctionnelle et radiothérapie

Imagerie médicale

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence, leur longueur d'onde dans le vide et leur énergie. - Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps

	<p>et sa température.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploiter le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière est maximale.
Réflexion, absorption et transmission des ondes électromagnétiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Associer l'absorption d'une onde électromagnétique à la nature du milieu concerné.
<p>Champ magnétique : sources de champ magnétique (Terre, aimant, courant).</p> <p>Sources de champ magnétique intenses : électro-aimant supraconducteur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en évidence expérimentalement l'existence d'un champ magnétique et déterminer ses caractéristiques. - Citer quelques ordres de grandeur de champ magnétique.

Exploration fonctionnelle et radiothérapie

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Radioactivité.</p> <p>Isotopes.</p> <p>Activité. Décroissance radioactive et demi-vie.</p> <p>Protection contre les risques de la radioactivité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les différents types de radioactivité et préciser la nature des particules émises ou des rayonnements émis. - Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes. - Positionner le rayonnement gamma dans le spectre des ondes électromagnétiques. - Interpréter les échanges d'énergie entre rayonnement et matière à l'aide du modèle corpusculaire. - Exploiter une courbe de décroissance radioactive et le temps de demi-vie d'une espèce radioactive. - Citer l'unité de mesure de la dose d'énergie absorbée. - Citer les risques liés aux espèces radioactives et exploiter une documentation pour choisir des modalités de protection.

Spécial

Sciences physiques et chimiques en laboratoire en classe de 1^{ère} de la série STL

NOR : MENE1104109A

arrêté du 8-2-2011 - J.O. du 25-2-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'Éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du comité interprofessionnel consultatif du 4-2-2011 ; avis du CSE du 9-12-2010

Article 1 - Le programme de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire en classes de première de la série sciences et technologies de laboratoire est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2011-2012.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 8 février 2011

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et de la Vie associative
et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Sciences physiques et chimiques en laboratoire - classe de première de la série technologique STL, spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

Les objectifs de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire sont identiques à ceux affichés dans le préambule du programme de physique chimie de tronc commun des séries STI2D et STL. La pratique d'activités de laboratoire et le projet permettent de mettre l'accent sur les capacités spécifiques aux activités expérimentales.

Cet enseignement doit être étroitement coordonné avec les enseignements de tronc commun, de mesure et instrumentation et de chimie-biochimie-sciences du vivant.

En première, l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire comprend trois modules de volume horaire identique :

- un module de physique consacré à **l'image** ;
- un module de chimie portant sur **chimie et développement durable** ;
- un module consacré à **l'ouverture vers le monde de la recherche et de l'industrie** d'une part et à un **projet** d'autre part, les deux pouvant être utilement liés.

1. Module Image

L'avènement d'internet et des technologies numériques a entraîné une extraordinaire explosion de la production, de la diffusion et de la consommation d'images, dans l'espace public comme dans l'espace privé. Dans ce contexte, l'enseignement des sciences physiques et chimiques se doit d'apporter sa contribution au développement d'une culture de l'image allant bien au-delà des seules dimensions artistique et sociale habituelles. L'image est devenue aujourd'hui un « objet » scientifique et technologique complexe qui contribue à la compréhension du monde et favorise le partage de l'expérience intellectuelle, fondement du progrès des sciences. Dans de nombreux domaines (industrie, santé, espace, information, etc.), elle est devenue un outil incontournable de diagnostic et de connaissance qui concourt à la résolution de nombreux problèmes se posant à notre société ; son rôle ne cessera de s'accroître dans les décennies à venir, ce qui justifie son introduction dans les programmes de formation dès le lycée.

Un enseignement scientifique de la voie technologique de laboratoire dont l'image est la référence permanente des contenus et des activités, vise :

- à faire percevoir aux élèves sa réalité et ses usages dans de nombreux domaines, notamment scientifiques ;
- à leur faire accéder à la connaissance des concepts et des modèles scientifiques qui sont au cœur des systèmes technologiques producteurs d'images ;
- à les initier aux démarches et aux outils d'investigation qu'ils pourront utiliser dans leurs études supérieures et dans leur vie personnelle et professionnelle.

L'image qui favorise par de nombreux aspects le dialogue des sciences de la matière et de la vie, des arts, des technologies et de bien d'autres disciplines doit inciter, à travers les pratiques de classe, au décloisonnement des savoirs, élément essentiel de la formation des jeunes. C'est, en tout cas, l'esprit dans lequel le programme a été conçu en soulignant notamment que le champ notionnel de l'image ne se réduit plus aujourd'hui au seul domaine de l'optique même si celui-ci reste très présent. Par-delà les apports de savoirs spécifiques et de compétences, le module Image ambitionne également de développer, à travers des pratiques pédagogiques innovantes, la formation du citoyen à l'esprit critique, à l'autonomie et à la curiosité intellectuelle, attitudes indispensables à ceux qui souhaitent s'orienter vers des études supérieures scientifiques ou technologiques.

Le programme du module Image déroule un contenu scientifique s'appuyant sur cinq grands domaines :

- D'une image à l'autre

Dans cette partie introductive, Il s'agit essentiellement de délimiter les contours du module Image tout en évoquant les problématiques attachées : qu'est ce qu'une image ? Comment est constituée une chaîne d'imagerie, de la production à l'exploitation de l'image ? Comment l'être humain s'approprie-t-il une image ? Quelles évolutions passées et à venir ?

- Images photographiques

Cette partie permet de mettre en place les concepts et les objets de l'optique ; ils sont introduits à partir d'un système imageur très répandu, l'appareil photographique numérique.

- Images et vision

On s'intéressera ici essentiellement à une caractéristique commune à la lumière, aux objets et aux images : la couleur.

- Lumière et énergie

La lumière transporte de l'énergie. L'interaction lumière-matière est au cœur des dispositifs émetteurs et récepteurs de lumière très présents dans la chaîne image. C'est une première approche des notions et des composants de la photonique qui est envisagée ici.

- Images et information

L'image est un concentré d'informations d'une part et l'information repose d'autre part, de plus en plus, sur l'image. Il s'agit de permettre aux élèves d'appréhender quelques procédés de traitement, de stockage, de transmission à distance, d'exploitation des informations dans de nombreux usages actuels des images.

La structure du programme ne doit pas être perçue comme une entrave à la liberté pédagogique du professeur en charge de cet enseignement. Il proposera un rythme et des activités d'apprentissages adaptés aux élèves et aux contraintes locales en articulation souple avec le programme du tronc commun et les autres modules du pôle Physique et chimie en laboratoire.

Sciences physiques et chimiques en laboratoire - classe de 1ère de la série STL
D'une image à l'autre

Notions et contenus	Capacités
Typologie d'images. Fonctions de l'image. Aspect historique de l'image. Droits d'auteurs, droit à l'image. Perception des images.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les éléments constitutifs d'une chaîne de production d'image. - Reconnaître la fonction d'une image donnée. - Distinguer « image enregistrée » et « image fabriquée ». - Identifier quelques formats d'enregistrements d'images couramment utilisés et les comparer selon un ou deux critères. - Donner le sens des expressions « profondeur de champ », « perspective », « luminosité », « monochrome/polychrome », « contraste », « résolution », « niveaux de gris » et les utiliser de manière appropriée pour décrire une image. - Identifier et commenter la nature de l'information contenue dans une image scientifique simple. - Repérer sur une échelle temporelle quelques périodes ou dates clés pour l'image et les associer à un support : peintures rupestres, peintures à l'huile, photographie, cinéma, télévision, vidéo, etc. - Adopter un comportement citoyen par rapport au droit d'auteur et au droit à l'image. - Exploiter un modèle simplifié de l'œil pour expliquer l'accommodation. - Comparer la courbe de sensibilité spectrale de l'œil humain à celle de certains animaux. - Citer des applications faisant appel à la persistance rétinienne. - Expliquer la condition de perception spatiale : de la vision stéréoscopique à l'image en trois dimensions.

Images photographiques

Notions et contenus	Capacités
Chambre noire et sténopé. Système optique : objet optique et image optique.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre expérimentalement des systèmes optiques imageurs ; identifier le rôle des éléments essentiels en les désignant ; caractériser objet et image optiques.
Lumière du jour et lumières artificielles. Lumière émise et lumière reçue. Réflexions spéculaire et diffuse. Filtres optiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter les phénomènes physiques mis en œuvre dans l'éclairage artificiel. - Établir un schéma fonctionnel simple d'une chaîne d'éclairage artificiel électriquement sécurisée. - Distinguer flux lumineux et éclairage lumineux. - Distinguer réflexion spéculaire et réflexion diffuse. - Distinguer contraste et luminosité d'une image. - Réaliser, interpréter et exploiter l'histogramme d'une image numérisée. - Analyser expérimentalement l'effet d'un filtre sur le spectre d'un rayonnement.
Faisceaux lumineux : déviation, déformation, aberrations. Systèmes optiques centrés ; stigmatisme ; conjugaison objet/image. Lentilles minces convergentes. Association de lentilles minces.	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer expérimentalement et distinguer différents phénomènes associés à la déviation d'un faisceau lumineux ; indiquer les applications associées. - Réaliser expérimentalement un faisceau lumineux cylindrique. - Exploiter les notions de foyers, distance focale pour caractériser un système optique. - Exploiter les propriétés d'une lentille mince convergente pour prévoir qualitativement la position et la taille d'une image. - Utiliser les relations de conjugaison pour prévoir la position et la taille d'une image obtenue à travers une lentille mince convergente ; réaliser une simulation numérique. - Déterminer expérimentalement la position et la taille d'une image. - Illustrer expérimentalement et corriger des aberrations optiques. - Comparer expérimentalement quelques caractéristiques d'un système optique réel et de son modèle simplifié.
Appareil photographique numérique : mise au point, ouverture, temps de pose.	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer expérimentalement le principe de mise au point automatique. - Associer l'éclairage et l'énergie reçus au nombre d'ouverture et au temps de pose.



<p>Angle de champ. Grandissement.</p> <p>Profondeur de champ. Grossissement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Établir expérimentalement la relation entre l'éclairement et le nombre d'ouverture. - Illustrer expérimentalement le principe d'un appareil à visée « réflex ». - Mesurer un angle de champ et un grossissement. - Relier l'angle de champ et le grandissement à la distance focale de l'objectif et à la taille du capteur. - Comparer expérimentalement le grossissement et l'angle de champ de différents objectifs. - Illustrer expérimentalement l'effet du diaphragme d'ouverture sur la profondeur de champ. - Mesurer le grossissement d'un système optique. - Distinguer zoom optique et zoom numérique.
<p>Photographie numérique : Photo détecteurs.</p> <p>Photographie argentique.</p> <p>Capteur : sensibilité et résolution.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre expérimentalement une photodiode ou un phototransistor. - Expliquer le principe des capteurs photosensibles CCD d'un appareil photographique numérique. - Réaliser une activité expérimentale pour relier l'éclairement reçu par un capteur et la grandeur électrique mesurée. - Interpréter l'image argentique par un procédé photochimique. - Comparer la sensibilité d'un capteur numérique et celle d'une pellicule argentique à une norme. - Relier la sensibilité à la résolution et à la surface du capteur.

Image et vision

Notions et contenus	Capacités
<p>Spectroscopie : prisme et réseaux.</p> <p>Spectres visibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser expérimentalement et décrire les spectres de différentes sources lumineuses dont une source laser. - Distinguer spectres d'émission et spectres d'absorption, spectres continus et spectres de raies. - Identifier, en utilisant une banque de données, un élément chimique à partir de son spectre d'émission ou d'absorption. - Exploiter la courbe d'intensité spectrale d'un spectre lumineux.
	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la longueur d'onde d'une radiation monochromatique à sa fréquence. - Mesurer des longueurs d'onde du spectre visible.
<p>Perception des couleurs.</p> <p>Couleur des objets.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter le rôle de chacun des deux types de cellules photosensibles de l'œil. - Exploiter les courbes de sensibilité relative de l'œil en vision diurne et en vision nocturne. - Interpréter la couleur d'un objet comme l'effet de l'interaction de la matière dont il est constitué avec la lumière incidente. - Citer les paramètres physiques intervenant dans la perception des couleurs : teinte, luminosité et saturation.
<p>Synthèses additive et soustractive des couleurs.</p> <p>Systèmes chromatiques.</p> <p>Filtres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer expérimentalement les synthèses additive et soustractive des couleurs. - Illustrer expérimentalement le principe du système RVB. - Exploiter un logiciel dédié pour déterminer les caractéristiques d'une couleur : composantes (R, V, B) ou teinte, luminosité, saturation (T, L, S). - Interpréter la pureté d'une couleur dans le diagramme chromatique (CIE 1931). - Citer des procédés de production d'images faisant appel à la synthèse additive ou à la synthèse soustractive.

Pigments et colorants. Colorants naturels et artificiels.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer couleur pigmentaire et couleur structurale. - Citer les phénomènes physiques pouvant intervenir dans la perception des couleurs structurales. - Illustrer expérimentalement l'effet des pigments sur la lumière blanche.
--	---

Lumière et énergie

Notions et contenus	Capacités
Interaction rayonnement-matière : émission et absorption, diffusion. Le photon. Quantification des niveaux d'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer expérimentalement quelques caractéristiques d'un photorécepteur, d'un photoémetteur. - Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. - Appliquer le modèle corpusculaire de la lumière pour expliquer le principe d'un photoémetteur et d'un photorécepteur.
Sensibilité lumineuse relative de l'œil. Grandeurs photométriques : flux, éclairement. Sensibilité des capteurs à l'éclairement. Réflexion, absorption, transmission, diffusion. Luminescences.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la courbe de sensibilité de l'œil. Interpréter les anomalies de la vision des couleurs (daltonisme). - Déterminer expérimentalement la puissance lumineuse et le flux lumineux de différentes sources de lumière. - Associer le flux énergétique d'un faisceau à un flux de photons dans le cas d'une lumière monochromatique. - Illustrer expérimentalement l'anisotropie des sources lumineuses artificielles. - Illustrer expérimentalement deux modes de détection du rayonnement : compteurs de photons, capteurs d'énergie. - Mesurer un éclairement lumineux ; donner des ordres de grandeur d'éclairement dans différentes situations courantes. - Déterminer expérimentalement les caractéristiques de quelques sources ou de quelques capteurs : efficacité énergétique, rendement quantique et sensibilité spectrale. - Caractériser un matériau optique par ses coefficients de réflexion, de transmission et d'absorption. - Interpréter deux phénomènes de luminescence parmi la chimiluminescence, la fluorescence, la phosphorescence et l'électroluminescence, à partir de l'interaction rayonnement-matière.
Sources « laser » : directivité, monochromaticité, puissance.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer différents types de laser et leurs usages dans différents domaines. - Énoncer les deux propriétés physiques spécifiques d'un faisceau laser. - Mettre en évidence expérimentalement les propriétés d'un faisceau produit par différentes sources laser. - Comparer la puissance surfacique d'une lumière émise par un laser et celle d'une autre source de lumière. - Utiliser une source laser en respectant les règles de sécurité. - Mesurer une distance avec une source laser.

Images et information

Notions et contenus	Capacités
Information : Sources d'information, signaux, débit. Chaîne de transmission d'informations.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les éléments d'une chaîne de transmission d'informations. - Caractériser une transmission numérique par son débit binaire. - Citer quelques modes de liaison possibles entre divers équipements vidéo, leurs avantages et leurs limites.

D.U. Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Image numérique. Traitement d'image.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir le pixel et estimer ses dimensions dans le cas de l'appareil photo numérique, d'un écran vidéo. - Expliquer le principe du codage en niveaux de gris et en couleurs RVB. - Énoncer qu'une image numérique est associée à un tableau de nombres. - Déterminer expérimentalement la résolution d'un convertisseur analogique/numérique. - Effectuer une opération simple (filtrage) de traitement d'image à l'aide d'un logiciel approprié. - Interpréter le chronogramme de sortie d'un capteur CCD.
Milieux et canaux de transmission : câbles, fibres, faisceaux hertziens.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer l'ordre de grandeur du débit binaire d'une transmission par câble coaxial, par fibre optique et par transmission hertzienne. - Expliquer le principe de propagation de la lumière dans une fibre optique. - Mesurer l'ouverture numérique d'une fibre optique. - Mettre en œuvre un dispositif de transmission de données par fibre optique. - Montrer expérimentalement le phénomène de réflexion à l'extrémité d'un câble de transmission et sa conséquence sur le signal.
Reconstitution de l'image avec divers imageurs.	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer le principe de reconstitution des couleurs par une imprimante, un écran numérique ou un vidéoprojecteur.
Stockage et mémorisation des images.	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la capacité mémoire nécessaire au stockage d'une image numérisée, non compressée, et sa définition. - Citer deux formats de fichiers images en précisant leurs principales caractéristiques. - Réaliser une conversion de formats de fichiers images à l'aide d'outils logiciels adaptés.

2. Module Chimie et développement durable

Pour faire face aux défis que l'humanité doit rapidement relever, qu'ils soient relatifs à l'énergie, à l'eau, à l'alimentation, à l'environnement et à la santé, la chimie a la capacité d'apporter des contributions essentielles que ce soit en réponse aux besoins de la société comme aux demandes environnementales. Le développement de connaissances en sciences chimiques, de méthodes et de techniques dans de nombreux domaines (chimie analytique, chimie organique, cinétique, catalyse, polymères, biochimie, fermentation, génie des procédés, modélisations moléculaires, etc.) est indispensable au développement des innovations nécessaires à l'amélioration des conditions de vie pour un véritable **développement durable**.

Les apports de la chimie sont en effet essentiels dans toutes les composantes retenues par ce mode de développement :

- **sociétale** : médicaments, cosmétiques, produits pour l'hygiène, conservateurs, textiles, insecticides, détection de toxines, etc. ;
- **environnementale** : réglementation sur les produits chimiques, développement de procédés propres et sûrs, traitement des effluents, procédés de recyclage, utilisation de matières premières renouvelables, analyse de traces de polluants, compréhension des éco-systèmes, devenir des produits, etc. ;
- **économique** : produits chimiques présents dans tous les secteurs économiques (automobile, bâtiment, textile, etc.) et innovations sources de croissance (vitrages autonettoyants, polymères biodégradables, cellules photovoltaïques organiques, microbatteries, supercondensateurs, etc.).

En classe de première et de terminale, le module Chimie et développement durable se propose de faire acquérir aux élèves les éléments de compréhension théorique et la capacité à mettre en œuvre les techniques utilisées dans **les synthèses et les analyses chimiques** tout en insistant sur l'évolution nécessaire des techniques pour répondre aux besoins de la société. Les notions et les lois classiquement étudiées en thermodynamique, en cinétique, en chimie organique, en chimie générale sont introduites ici pour résoudre des problématiques sociétales ou environnementales et pour répondre à des objectifs d'optimisation en termes de rendement, de fiabilité, de sécurité, de seuil, d'impact environnemental et de coût ; elles seront mises en perspective avec les innovations actuelles visant à faire évoluer les **procédés** pour les rendre plus sûrs, plus efficaces et de plus petite taille.

L'amélioration des **méthodes de synthèse** est capitale dans la recherche et le développement de procédés plus respectueux de l'environnement, visant à prévenir et à éliminer les déchets à la source. Fondées sur des économies d'atomes, des économies d'énergie consommée et une diminution des rejets, les différentes pistes explorées vont vers l'utilisation de produits de substitution et de solvants moins nocifs, de modes d'activation et de catalyses plus efficaces et la mise au point de formulations éco-compatibles. Les biotechnologies, avec notamment les biocatalyseurs, sont aussi au cœur de ces recherches car elles permettent d'accéder à de nombreux substrats spécifiques par les régio, stéréo et énantio-sélectivités des réactions enzymatiques, d'obtenir des conditions opératoires plus douces et des bilans écologiques plus favorables.

L'amélioration des **méthodes d'analyse** est tout aussi primordiale pour caractériser et quantifier les espèces polluantes dans différents milieux et à différentes concentrations, même à l'état de trace. Plusieurs objectifs sont poursuivis : développement d'outils quantitatifs fiables et rapides, abaissement des limites de détection dans des milieux complexes, traçabilité des méthodes, mise au point de nouveaux capteurs. Pour être atteints, ces objectifs exigent que soient améliorés en parallèle les différents maillons de la chaîne d'analyse : prélèvement, séparation, détection, traitement des données.

En classe de première, le programme comporte une introduction et deux parties :

Chimie : Enjeux sociétaux, environnementaux et économiques

- Champs d'application de la chimie et évolution des techniques
- Prise en compte de la sécurité en chimie
- La chimie face à l'environnement

Partie I : Synthèses chimiques

- Synthèses et environnement
- Techniques de séparation et de purification ; contrôle de pureté
- Synthèses organiques et réactivité de quelques composés organiques
- Amélioration de la cinétique des synthèses

Partie II : Analyses physico-chimiques

Analyses physico-chimiques et environnement

- Validités et limites des tests et mesures chimiques
- Préparation de solution de concentration molaire connue
- Dosages par étalonnage : choix de l'appareil de mesure en relation avec une propriété de l'espèce dosée,
- Dosages par titrage : première approche avec des suivis colorimétrique, conductimétrique et pHmétrique.

La présentation d'une chimie moderne au service des grandes causes sociétales et soucieuse de s'engager dans des démarches éco-compatibles peut permettre de changer positivement et durablement la perception qu'en a la société, et en tout premier lieu les élèves.

Ainsi dans l'introduction du programme Chimie : enjeux sociétaux, économiques et environnementaux, il s'agit de présenter le champ d'investigation de la chimie et de sensibiliser à l'évolution des technique qui ont jalonné son

histoire. Ces problématiques traversant l'ensemble de l'étude de la chimie servent de fil rouge lors de l'étude des synthèses et des analyses chimiques.

La structure du programme ne doit pas être perçue comme une entrave à la liberté pédagogique du professeur. Par exemple, l'optimisation cinétique d'une transformation peut être abordée dans le cadre d'une synthèse organique et conduire simultanément à l'étude d'une technique de séparation spécifique, un temps étant consacré ensuite pour structurer les différentes notions étudiées. Le professeur proposera un rythme et des activités d'apprentissages adaptés aux élèves et aux contraintes locales en articulation avec les enseignements de physique-chimie du tronc commun STI2D-STL, mesure et instrumentation et chimie-biochimie-science du vivant communs aux deux spécialités STL. Rendre les élèves acteurs de leurs apprentissages à travers questionnements et résolutions de problèmes en lien avec l'avenir de l'Homme apparaît de nature à pouvoir éveiller leur curiosité, dynamiser leurs capacités inventives, solliciter leur imaginaire et leur donner envie de poursuivre plus avant leur formation scientifique en s'engageant dans des filières supérieures scientifiques.

Ainsi une approche la plus concrète possible des différentes thématiques constitue-t-elle un atout pour développer l'intérêt des élèves, et le développement progressif de leur autonomie dans la mise en œuvre des démarches scientifiques est souhaité et souhaitable afin de garantir leur réussite dans leurs études supérieures.

Sciences physiques et chimiques en laboratoire - classe de 1ère de la série STL**Chimie : enjeux sociétaux, économiques et environnementaux**

Notions et contenus	Capacités
<p>Champs d'application de la chimie et évolution des techniques</p> <p>Champs d'application de la chimie.</p> <p>Aspects historiques et économiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer : <ul style="list-style-type: none"> . l'intervention de la chimie dans divers domaines de la vie courante ; . l'évolution d'une technique au cours des siècles ; . des choix opérés pour répondre à des besoins sociétaux et/ou économiques. - Prendre conscience du lien entre science et technique.
<p>Prise en compte de la sécurité en chimie</p> <p>Règles de sécurité au laboratoire.</p> <p>Pictogramme des réactifs, des solvants, des produits et sous-produits.</p> <p>La chimie face à l'environnement</p> <p>Rôle de la chimie dans des problématiques liées à l'environnement.</p> <p>Toxicité de certaines espèces chimiques.</p> <p>Stockage et recyclage des espèces à risque.</p> <p>Impact environnemental des synthèses et des analyses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relever dans les recueils de données les grandeurs physico-chimiques caractéristiques d'une espèce chimique. - Appliquer les règles de sécurité et respecter les conseils de prudence et de prévention liés aux espèces chimiques et à leurs mélanges. - Adopter une attitude responsable au laboratoire. - Développer progressivement une autonomie dans la prévention des risques. - Analyser les consignes de sécurité proposées dans un protocole. - Citer des implications de la chimie dans des études menées sur l'environnement ou des actions visant à le préserver. - Relever les informations relatives à la toxicité d'espèces chimiques (classes de danger pour la santé et de danger pour l'environnement) et respecter les conseils de prudence et de prévention associés. - Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange à la tolérance admise dans les eaux de rejet. - Choisir, parmi plusieurs procédés, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Synthèses chimiques

Notions et contenus	Capacités
<p>Synthèses et environnement</p> <p>Analyse de l'impact environnemental d'une synthèse.</p> <p>Chimie « verte », Chimie douce.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les exigences en matière de chimie « verte » ou durable, en ce qui concerne les choix des matières premières, des réactions et des procédés, ainsi que d'éco-compatibilité du produit formé. - Comparer les avantages et les inconvénients de différents procédés de synthèse. - Réaliser l'extraction d'une espèce naturelle et mettre en œuvre une hémisynthèse à partir de cette espèce. - Reconnaître une hémisynthèse dans la description d'un protocole. - Citer quelques utilisations importantes des agroressources en

Alternative à la pétrochimie : chimie des substances naturelles (agroressources et hémisynthèses), synthèses biotechnologiques.	synthèse organique et exploiter des documents pour illustrer leur part croissante en tant que matières premières. - Citer quelques exemples importants de synthèses mettant en œuvre les biotechnologies.
Séparation et purification Techniques : Distillation Recristallisation Filtration sous vide Chromatographie : couche mince (CCM) et colonne. Contrôle de pureté.	- Réaliser une distillation simple, une distillation fractionnée, une recristallisation, une filtration, une filtration sous vide, une chromatographie. - Comparer les influences de la nature de la phase fixe et de la phase mobile sur la séparation des espèces chimiques. - Mesurer une température de fusion, un indice de réfraction. - Argumenter sur la pureté d'un produit à l'aide d'une observation, d'une série de mesures, d'une confrontation entre une mesure et une valeur tabulée.
Synthèses organiques Relation structure - réactivité en chimie organique Réactivité des : - alcools (oxydation, élimination, substitution) ; - aldéhydes et cétones (aldolisation, crotonisation, réduction) ; - acides et dérivés (estérification, hydrolyse) ; - composés aromatiques (substitution). Réaction d'addition, élimination, substitution, oxydation, réduction, acide-base. Sites nucléophiles et électrophiles.	- Réaliser l'oxydation d'un alcool dans le cadre d'une synthèse. - Reconnaître les réactions d'aldolisation, de crotonisation, d'estérification et d'hydrolyse. - Réaliser une synthèse mettant en œuvre une aldolisation, une réduction de cétone, une réaction de substitution électrophile aromatique. - Déterminer, à l'aide d'un tableau d'avancement, le réactif limitant dans une réaction de synthèse et en déduire le rendement de la synthèse. - Distinguer les différents types de réaction parmi les additions, éliminations, substitutions, oxydations, réductions et acide-base. - Identifier les sites électrophiles ou nucléophiles des différents réactifs.
Amélioration des cinétiques de synthèse Facteurs cinétiques. Énergie d'activation d'une réaction. Catalyse homogène et hétérogène. Chimie douce, chimie biomimétique.	- Effectuer expérimentalement le suivi temporel d'une synthèse chimique. - Décrire l'évolution de l'énergie d'un système à l'aide d'un profil réactionnel. - Proposer un protocole pour mettre en évidence les facteurs d'influence lors d'une catalyse homogène ou lors d'une catalyse hétérogène. - Interpréter, au niveau microscopique, l'évolution de la vitesse d'une réaction en fonction de la concentration, de la température, et de la présence de catalyseur. - Comparer des vitesses de réaction dans différents solvants et discuter du rôle du solvant. - Réaliser une synthèse mettant en œuvre une catalyse dans le cadre de la chimie biomimétique.

Analyses physico-chimiques

Notions et contenus	Capacités
Analyses physico-chimiques et environnement	- Citer des analyses physico-chimiques mises en œuvre dans le cadre d'études environnementales.
Validité et limites des tests et des mesures effectués en chimie Précision, répétabilité, reproductibilité, fiabilité. Analyse qualitative : Tests de reconnaissance. Témoin. Analyse quantitative : seuil de détection. Instruments d'analyse et de mesure. Propriétés physiques des espèces chimiques. Chromatographie : couche mince (CCM) et colonne. Analyse structurale. Spectroscopie UV, IR, RMN Interaction rayonnement-matière.	- Apprécier la précision, la répétabilité, la reproductibilité et la fiabilité d'un test ou d'une analyse ou d'un dosage. - Utiliser un logiciel de simulation pour rechercher les conditions opératoires optimales d'une analyse - Utiliser une banque de données pour exploiter les résultats d'une analyse qualitative d'ions ou de groupes caractéristiques. - Apprécier la pertinence d'un témoin lors d'une analyse qualitative et quantitative. - Expliquer le principe des bandelettes-test ou des papiers indicateurs. - Mettre en œuvre un protocole permettant de déterminer une limite de détection d'un test. - Citer quelques techniques mises en œuvre dans le cas de très faibles teneurs d'une espèce chimique à détecter. - Utiliser les principaux dispositifs d'analyse et de mesure : réfractomètre, banc Kofler, thermomètre, verrerie graduée, balance, pHmètre, conductimètre, spectrophotomètre. - Utiliser une chromatographie dans le cadre d'une analyse et interpréter le chromatogramme obtenu. - Pour chaque type d'analyse spectroscopique, citer les caractéristiques du rayonnement utilisé et les structures étudiées. - Utiliser des banques de données pour confirmer la présence d'un groupe caractéristique (IR) et pour confirmer une formule développée (RMN).
Préparation de solutions Concentration massique et molaire d'une solution.	- Réaliser en autonomie des solutions ioniques et moléculaires de concentration molaire donnée. - Écrire l'équation d'une réaction de dissolution. - Déterminer la concentration effective d'une espèce chimique dans une solution à partir de la description du protocole de préparation de la solution.
Dosages par étalonnage Échelle de teintes. Spectrophotométrie. Densimétrie. Réfractométrie. Chromatographie sur colonne.	- Concevoir un protocole pour déterminer la concentration d'une solution inconnue par une gamme d'étalonnage. - Tracer et exploiter une courbe d'étalonnage. - Utiliser la loi de Beer-Lambert. - Réaliser et exploiter quantitativement une chromatographie sur colonne.

<p>Dosages par titrage Équivalence d'un titrage.</p> <p>Titrages directs et indirects.</p> <p>Réactions support de titrage :</p> <ul style="list-style-type: none">- oxydation-réduction (espèces colorées en solution) :- acide-base (suivis conductimétrique et pHmétrique).	<ul style="list-style-type: none">- Définir l'équivalence d'un titrage.- Citer les espèces présentes dans le milieu réactionnel au cours du titrage.- Déterminer la concentration d'une solution inconnue à partir des conditions expérimentales d'un titrage.- Suivre et concevoir un protocole de titrage direct et de titrage indirect d'espèces colorées.- Réaliser des titrages suivis par conductimétrie et par pHmétrie.- Interpréter qualitativement l'allure des courbes de titrages conductimétriques.- Citer et écrire les formules chimiques de quelques espèces usuelles :<ul style="list-style-type: none">. acides (acide nitrique, acide sulfurique, acide phosphorique, acide chlorhydrique, acide éthanoïque) ;. bases (ion hydroxyde, soude et potasse, ammoniac) ;. oxydants (ion permanganate, ion peroxodisulfate, diiode, dioxygène, eau oxygénée) ;. réducteurs (ion thiosulfate, ion sulfite, ions iodure, métaux courants).
--	--

3. Ouverture vers le monde de la recherche ou de l'industrie et projet

Il s'agit dans ce module d'amener les élèves :

- d'une part à identifier la présence des phénomènes et propriétés relevant du champ de la physique ou de la chimie dans des réalisations technologiques, de préciser quelle(s) question(s) elle a permis de résoudre, de quelle manière elle l'a fait, quel en a été le résultat. Cette identification pourra se faire lors d'études de cas ;
- d'autre part à amener l'élève à mobiliser ses connaissances et ses capacités dans le cadre d'un projet.

Études de cas

À travers l'analyse de quelques applications contemporaines, il s'agit de mettre en évidence le rôle des sciences physiques et chimiques dans la résolution de questions ou de problèmes scientifiques ayant permis, entre autres, d'élaborer des objets ou des systèmes. Ce sera l'occasion de réinvestir les lois et modèles étudiés dans l'enseignement de tronc commun de sciences physiques et chimiques, de mesures et instrumentation, de chimie-biochimie-sciences du vivant et ceux étudiés dans le cadre de ce module. Ce sera aussi l'occasion de montrer aux élèves les contraintes de toute nature (économique, technologique, sociétale, etc.) intervenant dans le choix des solutions obtenues. Des rencontres avec des chercheurs, des industriels, des visites de sites, voire des études de procédés in situ viendront compléter ces analyses.

Cet ensemble participera à l'orientation et à la sensibilisation aux métiers scientifiques mais aussi à la prise de conscience des grands enjeux scientifiques et technologiques qui se posent et se poseront à la société.

Projet

Le projet mobilise des compétences pluridisciplinaires, en particulier celles développées en sciences physiques et chimiques, pour imaginer une réponse à une question.

Mettre en projet, c'est avant tout mobiliser chez les élèves la capacité de projection (« Je choisis ») plutôt que celle de reproduction (« J'exécute une démarche programmée »). L'enjeu de formation est de rendre les élèves acteurs autonomes plutôt que simples exécutants.

Le projet sera l'occasion pour les élèves de réinvestir les connaissances et les capacités déjà rencontrées. Ce sera aussi l'occasion d'en acquérir de nouvelles, notamment au niveau des attitudes.

Il s'agit de permettre à un groupe d'élèves de définir **par eux-mêmes** l'ensemble des activités à mener pour répondre à une problématique qu'ils auront choisie ou que le professeur leur aura proposée.

À partir de la thématique initiale proposée par l'équipe enseignante, les élèves doivent :

- questionner le sujet et dégager un problème initial ;
- formuler une problématique ;
- définir une procédure de résolution, planifier le travail, répartir les tâches et les réaliser ;
- choisir une solution et la justifier d'un point de vue scientifique, technologique, socio-économique ;
- réaliser tout ou partie de la solution ;
- rendre compte de leur démarche et de leurs résultats à l'écrit ou à l'oral en utilisant des supports de communication variés.

Enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la série sciences et technologies de laboratoire - classe terminale

NOR : MENE1121701A

arrêté 2-8-2011 - J.O. du 26-8-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du Comité interprofessionnel consultatif du 1-7-2011 ; avis du CSE du 7-7-2011

Article 1 - Le programme de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire en classe terminale de la série sciences et technologies de laboratoire est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2012-2013.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 2 août 2011

Pour le ministre de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative
et par délégation,

Le directeur général de l'enseignement scolaire,

Jean-Michel Blanquer

Annexe

Programme de l'enseignement de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire Classe terminale de la série technologique STL

Les objectifs de l'enseignement de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire sont identiques à ceux affichés dans le préambule du programme de physique-chimie des séries STI2D et STL :

- pratiquer une démarche scientifique et développer la culture scientifique dans sa dimension historique et contemporaine ;
- poursuivre l'initiation à la conduite de projet ;
- développer l'approche par compétences de l'enseignement.

Pratiquer une démarche scientifique et développer la culture scientifique

L'enseignement de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la classe terminale de la série STL prolonge celui de la classe de première.

La démarche scientifique, à laquelle les élèves sont progressivement initiés depuis le collège, organise la pratique et les modalités de cet enseignement. Elle naît d'un questionnement qui, dans la série STL, s'appuie sur des « objets » scientifiques et technologiques construits par l'Homme. Ce questionnement engendre une démarche réflexive et active mobilisant les connaissances acquises ou les représentations initiales pour formuler des hypothèses, explorer les possibles et les confronter au réel à travers l'expérience. Dans cette démarche, la construction de modèles, la

découverte ou la nécessaire introduction de nouveaux concepts et de nouvelles lois accroissent progressivement les savoirs et les capacités scientifiques expérimentales et théoriques des élèves. L'expérience, qui joue un rôle capital, acquiert ainsi un statut qui la distingue fondamentalement de celui d'un protocole fourni à un exécutant qui doit le respecter sans percevoir l'objectif et les finalités de ses actions. La pratique expérimentale dans sa plus large acception - c'est-à-dire n'excluant pas la simulation - permet à l'élève de la série technologique d'aborder très concrètement les différentes notions scientifiques du programme.

L'exercice de l'esprit critique est inhérent à la pratique de la démarche scientifique. La confrontation d'un résultat d'expérience aux hypothèses formulées ou celle d'un modèle construit au rendu du réel, impose le choix de critères de validation et, très souvent, la délimitation d'un champ ou d'un domaine de validité et d'application. Ce sont les allers-retours entre l'activité expérimentale, ses résultats, et l'activité réflexive sur les concepts et les modèles qui précisent, affinent, stabilisent la connaissance ou la font évoluer.

Dans l'accomplissement de la démarche scientifique, l'élève doit ainsi être capable de prélever des informations pertinentes, de les mettre en relation entre elles et avec son propre savoir et de les exploiter. Il doit aussi être en mesure de communiquer les résultats d'une recherche dans un langage rigoureux et adapté au public auquel il s'adresse.

Dans cet enseignement de spécialité, l'exercice de l'activité scientifique sur des objets technologiques ne donne pas lieu cependant à une analyse complète et détaillée du fonctionnement des supports d'étude. L'objectif est bien ici de se saisir de ces objets pour dégager ou appliquer des principes, des lois ou des méthodes fondamentales des sciences physiques et chimiques, ce qui n'exclut pas, bien au contraire, de montrer l'évolution historique des solutions adoptées pour effectuer telle observation, telle action ou réaliser telle analyse ou telle synthèse. Ce qui n'exclut pas non plus d'interroger la pérennité des solutions actuelles notamment au regard du développement de certaines technologies : la science et la technologie sont évolutives dans le temps.

« La grande différence entre le mythe et la théorie scientifique, c'est que le mythe se fige. » (François Jacob)

Cette démarche permet d'identifier des phénomènes et propriétés relevant du champ des sciences physiques et chimiques dans des réalisations technologiques, de préciser les problèmes qu'elles ont permis de résoudre, de mettre en évidence le rôle qu'elles ont joué dans l'élaboration des objets ou des systèmes simples, complexes ou innovants actuels, de souligner la place qu'elles peuvent et doivent tenir pour faire face aux grands défis de société.

Poursuivre l'initiation à la conduite de projet

Le projet est défini comme un ensemble planifié d'activités d'investigation scientifique menées par un groupe de 2 à 4 élèves et se rapportant à un même objet. Il vise à répondre à une ou plusieurs questions issues d'une éventuelle thématique générale proposée à toute ou partie de la classe.

Les élèves devront réinvestir leurs connaissances et capacités dans une démarche scientifique menée en autonomie dans son intégralité, avec l'appui du professeur mais aussi de ressources extérieures à la classe ou à l'établissement. La thématique du projet peut déborder du champ de l'enseignement de spécialité de sciences physiques et chimiques en laboratoire vers, par exemple, le domaine des sciences du vivant, sans toutefois exiger de la part des élèves l'acquisition de compléments scientifiques hors des programmes de la série STL suivie. On peut, dans ce cadre, envisager toute ouverture sur le monde de la recherche et de l'activité de laboratoire, qu'elle soit ou non liée à l'industrie. Le projet peut ainsi être l'occasion de rencontres avec des chercheurs des domaines public ou privé.

On attend des élèves qu'ils soient capables :

- de s'approprier une problématique ;
- d'effectuer une recherche bibliographique sur le sujet traité ;
- de proposer une procédure de résolution pour y apporter une réponse ;
- de proposer une ou des pistes de recherche visant à valider une ou des hypothèses formulées ;
- de mettre en œuvre des activités expérimentales qualitatives et quantitatives incluant éventuellement la simulation, une recherche ou une activité hors de l'établissement pour valider les possibles proposés ;

- de produire un document de communication sur leur démarche et sur les résultats obtenus, ce document pouvant faire appel à différents formats ;

- de préparer et de soutenir une présentation orale sur le sujet traité.

Les élèves ont été initiés en classe de première STL aux différentes phases de conduite d'un projet. En terminale, une plus large autonomie leur sera accordée mais aussi une plus grande responsabilité leur sera demandée. Les professeurs encadrent les activités liées au projet sur les horaires habituels de physique-chimie en laboratoire. Le projet sera conduit sur une durée de trente-six heures et sera l'occasion de promouvoir chez les élèves des compétences liées à :

- La conduite d'un projet

Un projet répond à une problématique par une démarche bien spécifique dont les étapes sont planifiées dans le temps. De la découverte de la problématique - sujet du projet - à la communication des propositions de réponses, l'élève accomplit un cheminement à travers une recherche d'information sur le sujet via une bibliographie ou une sitographie, la formulation d'hypothèses ensuite vérifiées - ou infirmées - par des activités expérimentales et d'éventuelles visites de laboratoires ou d'entreprises.

Le projet se conclut par une réponse argumentée, non dépourvue d'un regard critique, liant à la fois la problématique initiale, les choix effectués et les éléments de réponse apportés. Il offre aussi aux élèves la possibilité de réinvestir concrètement, dans une étude s'inscrivant sur une durée raisonnable, des connaissances et des capacités de physique et de chimie.

- La rédaction d'un rapport de projet

Les élèves développeront la capacité à rédiger de façon claire et concise la démarche adoptée en faisant apparaître les différentes phases du projet, les choix effectués, les recherches conduites et les activités (bibliographiques, interviews, visites, expériences, etc.), les résultats des activités expérimentales réalisées, leur analyse et une synthèse en réponse à la problématique posée par le projet.

- Une présentation orale du projet

Le développement des capacités langagières orales des élèves est une composante essentielle de formation des élèves de STL. Liées à la maîtrise de la langue et à celle des technologies de l'information et de la communication, ces compétences placent l'élève dans la position de celui qui informe, explique et doit convaincre. Les capacités langagières de production orale sont une composante essentielle de la réussite tout au long de la vie et, entre autres, dans l'enseignement supérieur.

Développer l'approche par compétences de l'enseignement

Comme le programme de première, celui de terminale se présente sous la forme d'un tableau à deux colonnes : les notions et contenus qui sont abordés et les capacités dont la maîtrise est exigible des élèves en fin d'année scolaire. Les capacités exigibles des élèves regroupent les connaissances et les capacités, notamment expérimentales, des élèves, exprimées pour le professeur sous la forme de verbes d'actions : exprimer, citer, définir, relier, réaliser, déterminer expérimentalement, etc. Ces capacités bornent les savoirs et les savoir-faire qui sont attendus à la fin de la classe terminale. Elles ne constituent ni une progression, ni un plan de cours et ne résument pas la construction de séquences pédagogiques. Dans le cadre de son enseignement, le professeur, libre de ses choix pédagogiques, distingue les objectifs plaçant les élèves dans une démarche scientifique de ceux de nature cognitive construits ou appliqués lors de la séquence. L'acquisition de connaissances et le développement de capacités sont logiquement évalués sous la forme de niveaux de compétences atteints.

Cet enseignement de spécialité doit contribuer à la réussite des études dans l'enseignement supérieur. Aussi le professeur doit-il être sensible à développer, chez les élèves, l'autonomie, la responsabilité et la prise d'initiative. La démarche scientifique et la conduite de projet participent à un tel développement par les choix qu'elles imposent lors de leur mise en œuvre, par les méthodes de travail qui y sont développées, par les contraintes qui doivent être prises en compte et par l'indispensable respect d'autrui et de l'environnement.

Claude Bernard, médecin qui a posé les premières bases de la démarche scientifique, ne disait-il pas au sujet de cette dernière :

« Pour être digne de ce nom, l'expérimentateur doit être à la fois théoricien et praticien. [...] Une main habile sans la tête qui la dirige est un instrument aveugle ; la tête sans la main qui réalise reste impuissante. »

Contenu du programme

Cet enseignement, qui doit être étroitement coordonné avec celui de physique-chimie, comprend trois modules :

- un module de physique portant sur l'étude des applications des ondes ;
- un module de chimie portant sur chimie et développement durable ;
- un module consacré à l'étude des systèmes et des procédés.

Le projet est une modalité pédagogique trouvant sa place dans chacun des modules en prenant appui sur des « objets technologiques » présents dans l'établissement.

La pratique d'activités de laboratoire et le projet mettent l'accent sur les capacités spécifiques aux activités expérimentales et permettent plus particulièrement de renforcer les compétences acquises dans l'enseignement « Mesures et instrumentation ». En faisant prendre conscience à l'élève des causes de limitation de la précision, des sources d'erreurs et de leurs implications sur la qualité de la mesure pour finalement aboutir à la validation d'une loi ou d'un modèle, on développe l'esprit critique, la capacité d'analyse et l'attitude citoyenne. L'informatique peut jouer un rôle tout à fait particulier en fournissant aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des outils mathématiques utilisés.

Le tableau suivant résume les notions et capacités spécifiques relatives aux mesures et à leurs incertitudes que les élèves doivent maîtriser à la fin de la formation du lycée général et technologique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreurs et notions associées	- Identifier les différentes sources d'erreur (de limites à la précision) lors d'une mesure : variabilité du phénomène et de l'acte de mesure (facteurs liés à l'opérateur, aux instruments, etc.).
Incertitudes et notions associées	- Évaluer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. - Comparer le poids des différentes sources d'erreur. - Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie. - Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. - Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
Expression et acceptabilité du résultat	- Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture. - Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance. - Évaluer la précision relative.

- Déterminer les mesures à conserver en fonction d'un critère donné.
- Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence.
- Faire des propositions pour améliorer la démarche.

Ondes

En classe de première, le module « Image » de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire a permis de faire percevoir aux élèves la place des images et de leurs usages dans de nombreux domaines, de les faire accéder à la connaissance des concepts et des modèles scientifiques qui sont au cœur des systèmes technologiques producteurs d'images et de les initier aux démarches et aux outils d'investigation qu'ils pourront utiliser dans leurs études supérieures et dans leurs vies personnelle et professionnelle.

L'obtention de ces images amène tout naturellement à s'interroger sur les modèles et les concepts associés à la lumière et, plus généralement, aux ondes. Celles-ci sont maintenant indissociables des activités humaines, que ce soit dans le domaine industriel (communication, santé, espace, etc.) ou dans la vie quotidienne (téléphonie, Wifi, domotique, etc.). Il est donc tout à fait légitime et nécessaire de former les futurs scientifiques (que ce soit au niveau technicien, ingénieur ou chercheur) à ces concepts et d'inscrire l'étude « des ondes » dans le parcours des lycéens, quelle que soit leur voie.

Pour des raisons d'efficacité pédagogique, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et des concepts, se déploiera à partir d'objets techniques, professionnels, familiers ou à partir de procédés simples ou complexes, emblématiques du monde contemporain. Cette approche crée un contexte d'apprentissage stimulant, susceptible de mobiliser les élèves autour d'activités pratiques, et permettant de développer des compétences variées. C'est aussi l'occasion de montrer comment les sciences physiques et chimiques peuvent contribuer à une meilleure prise de conscience des enjeux environnementaux et à l'éducation au développement durable.

Les concepts concernant « les ondes » sont introduits à travers deux thèmes :

1. Des ondes pour observer et mesurer

L'étude de dispositifs permettant l'observation d'objets millimétriques, micrométriques, nanométriques ou l'observation d'objets lointains non ou difficilement observables à l'œil nu permet d'installer les notions de base concernant les ondes (propagation, réflexion, réfraction, diffusion, polarisation, diffraction, interférences, etc.).

2. Des ondes pour agir

Ce thème aborde l'étude des dispositifs permettant de concentrer et de guider les ondes. Il s'agit aussi d'étudier l'utilisation de l'énergie ou de l'information transportées par les ondes.

La partie « **Les ondes qui nous environnent** » fait référence à une première approche des notions et des concepts qui seront développés dans les deux thèmes décrits ci-dessus. Elle vise à poser le lexique, à montrer expérimentalement que des ondes sont générées par des oscillations, que les ondes peuvent être détectées et qu'elles possèdent des propriétés spécifiques qui seront utilisées par la suite pour observer, mesurer et agir. Il s'agit donc d'un balayage initial du champ concerné par le programme, sans développement excessif et sans approfondissement.

Les ondes qui nous environnent

Notions et contenus	Capacités exigibles
Perturbation d'un système physique ; réponse du système.	- Caractériser la réponse temporelle de différents systèmes physiques soumis à une perturbation en utilisant les capteurs appropriés.
Phénomènes vibratoires ; grandeurs vibratoires.	- Identifier la ou les grandeur(s) vibratoire(s). - Qualifier les oscillations libres d'un système : oscillations pseudo-

<p>Systèmes oscillants en mécanique et en électricité.</p> <p>Exemples dans différents domaines de fréquences.</p> <p>Analogies électromécaniques.</p> <p>Aspects énergétiques ; effets dissipatifs ; amortissement</p> <p>Oscillations forcées. Notion de résonance.</p> <p>Oscillations auto-entretenues : source de signal.</p>	<p>périodiques, quasi-sinusoïdales, amorties.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modéliser analytiquement, à partir d'enregistrements, les réponses correspondant aux différents régimes d'oscillations d'un système à un degré de liberté : harmonique, apériodique, pseudo-périodique. - Comparer deux oscillateurs dans deux domaines différents de la physique ; indiquer les analogies. - Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans un phénomène oscillatoire en mécanique et en électricité. - Mettre en évidence expérimentalement un phénomène de résonance en électricité et en mécanique ; mesurer une fréquence de résonance et déterminer un facteur de qualité. - Analyser le rôle d'un dispositif d'entretien d'oscillations. - Visualiser et exploiter le spectre en amplitude d'un signal temporel représentatif d'oscillations en régime permanent.
<p>Notion d'onde.</p> <p>Propagation d'une perturbation dans un milieu élastique.</p> <p>Ondes progressives ; retard, célérité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser la propagation d'une perturbation dans un milieu élastique unidimensionnel. - Représenter les évolutions temporelle et spatiale du phénomène observé. - Mesurer un retard, une célérité. - Distinguer onde transversale et onde longitudinale, onde plane et onde sphérique.
<p>Ondes progressives périodiques ; ondes sinusoïdales : fréquence, période, longueur d'onde, célérité, amplitude, intensité.</p> <p>Périodicités temporelle et spatiale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter la signification des différentes grandeurs physiques intervenant dans le modèle d'une onde progressive sinusoïdale, unidimensionnelle et leur lien avec le sens de propagation. - Citer et exploiter la relation entre fréquence, longueur d'onde et célérité. - Citer le lien entre l'amplitude d'une grandeur vibratoire et la puissance moyenne transportée par une onde.
<p>Propagation libre, guidée.</p> <p>Réflexion, réfraction, transmission, atténuation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer propagation libre et propagation guidée. - Expliciter les phénomènes se produisant lorsqu'une onde change de milieu de propagation ; caractériser simplement ces phénomènes.
<p>Représentation fréquentielle des ondes.</p> <p>Spectre des ondes électromagnétiques.</p> <p>Modèle ondulatoire et corpusculaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Repérer et identifier les différents domaines du spectre des ondes électromagnétiques utilisées. - Extraire et exploiter des informations sur les différentes catégories d'ondes et sur leurs effets sur la matière inerte ou vivante. - Relier la fréquence d'une onde électromagnétique monochromatique à l'énergie des corpuscules la constituant. - Détecter la présence de micro-ondes par une mesure adaptée.
<p>Sources d'ondes (acoustiques et électromagnétiques) et capteurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer le diagramme de rayonnement d'un transducteur ultrasonore. - Mesurer et interpréter les caractéristiques d'un photorécepteur.

(transducteurs piézo-électriques, composants optoélectroniques, antennes).

Des ondes pour observer et mesurer

Observer : voir plus grand

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Du millimètre au micromètre. Faisceaux de lumière ; objectifs et oculaires ; diffraction de la lumière par un diaphragme circulaire, résolution d'un instrument d'optique. Grossissement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire d'une documentation les caractéristiques utiles d'un microscope commercial pour le choisir et le mettre en œuvre. - Mettre en évidence expérimentalement le phénomène de diffraction. - Prévoir les conséquences de la modification de la taille de l'objet diffractant et de la longueur d'onde sur une figure de diffraction. - Définir le grossissement et le pouvoir de résolution d'un microscope optique. - Modéliser un microscope optique par un système optique simple. - Réaliser et exploiter le tracé d'un faisceau de lumière pour décrire le principe du microscope. - Exploiter les relations de conjugaison pour déterminer la position et la taille d'une image fournie par l'objectif d'un microscope. - Associer le pouvoir de résolution d'un instrument au phénomène de diffraction et aux propriétés du capteur. - Déterminer expérimentalement quelques caractéristiques d'un appareil commercial.
<p>Effet piézoélectrique. Réflexion, absorption et transmission d'une onde. Coefficients de transmission, d'absorption et de réflexion énergétiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre une source et un capteur piézoélectriques. - Illustrer expérimentalement le principe d'un échographe unidimensionnel. - Mesurer les coefficients de transmission et de réflexion énergétiques des ondes lumineuses ou ultrasonores d'une interface en incidence normale. - Mesurer le coefficient d'absorption des ondes lumineuses ou ultrasonores dans un milieu. - Tracer expérimentalement le diagramme de directivité d'un émetteur ultrasonore. - Utiliser les coefficients énergétiques dans l'étude de cas concrets simples.
<p>Du micromètre au nanomètre. Nanosciences.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire le principe d'un microscope à force atomique. - Associer les différents types de microscopes à leurs domaines d'observation.

Observer : voir plus loin

Notions et contenus	Capacités exigibles
Miroirs sphériques, miroirs plans. Télescope. Grossissement.	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire d'une documentation les caractéristiques utiles d'un appareil commercial pour son choix ou sa mise en œuvre. - Réaliser et exploiter le tracé d'un faisceau de lumière pour décrire le principe de fonctionnement du télescope. - Illustrer expérimentalement le principe d'un télescope et déterminer ses caractéristiques. - Déterminer expérimentalement quelques caractéristiques d'un appareil commercial. - Montrer expérimentalement les effets limitatifs de l'objectif et de l'oculaire sur le champ et la luminosité d'un télescope.

Mesurer

Notions et contenus	Capacités exigibles
Propagation.	<ul style="list-style-type: none"> - Relier durée de parcours, distance parcourue et célérité. - Mesurer la célérité du son, de la lumière, le protocole expérimental étant fourni. - Mesurer une distance par télémétrie laser ou ultrasonore.
Réfraction, réfraction limite et réflexion totale. Réfractomètre.	<ul style="list-style-type: none"> - Relier les indices optiques des milieux à l'angle limite de réfraction. - Déterminer la concentration en sucre ou en alcool d'une solution par une méthode réfractométrique.
Diffusion.	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire le principe de détection à distance de particules en suspension dans l'atmosphère.
Structure d'une onde électromagnétique. Ondes polarisées ou non polarisées ; polariseur, analyseur.	<ul style="list-style-type: none"> - Produire et analyser une lumière polarisée. - Associer la polarisation d'une onde électromagnétique à la direction du champ électrique. - Déterminer une concentration à partir de la mesure de la déviation du plan de polarisation de la lumière dans une solution.
Diffraction.	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un capteur d'intensité lumineuse pour visualiser une figure de diffraction d'une fente rectangulaire, d'un fil. - Citer et utiliser l'expression de l'angle d'ouverture d'un faisceau monochromatique diffracté par une fente. - Réaliser une mesure dimensionnelle en utilisant le phénomène de diffraction. - Associer la capacité de stockage d'un support numérique optique à la

	longueur d'onde du laser utilisé et à l'ouverture numérique de l'optique de focalisation.
Interférences, différence de marche entre deux chemins. Réseaux, pas d'un réseau.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les différents chemins optiques entre une ou plusieurs sources ponctuelles et un détecteur. - Exprimer la différence de marche entre deux chemins optiques. - Relier l'intensité reçue par un capteur à la différence de marche de deux ondes. - Utiliser un capteur d'intensité lumineuse pour visualiser une figure d'interférences, le protocole étant donné. - Exploiter les interférences créées par un dispositif à deux ondes et par un réseau. - Choisir et utiliser un réseau adapté pour mesurer une longueur d'onde. - Effectuer une mesure dimensionnelle avec un dispositif interférométrique, le protocole étant fourni. - Décrire le principe de la mesure de distances entre plans cristallins par une méthode interférométrique.
Absorption ; spectrophotométrie.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des spectres d'absorption dans différents domaines de longueurs d'onde. - Déterminer la concentration d'un soluté par spectrophotométrie.
Effet Doppler.	<ul style="list-style-type: none"> - Relier le décalage en fréquence d'une onde émise par une source en mouvement à la vitesse de la source. - Illustrer expérimentalement le principe d'un vélocimètre à effet Doppler.
Rayonnement et température.	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter la dépendance entre la puissance totale rayonnée d'un corps et sa température. - Effectuer une mesure de température à l'aide d'une thermopile (capteur bolométrique), le protocole étant fourni.

Des ondes pour agir

Concentrer et diriger les ondes

Notions et contenus	Capacités exigibles
Faisceaux cylindriques et coniques. Focalisation, foyer, distance focale. Stigmatisme. Réfraction. Réflexion.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en évidence que l'énergie transportée par les ondes lumineuses ou sonores peut être dirigée ou concentrée. - Associer la concentration d'énergie d'un faisceau à sa géométrie. - Tracer le trajet du faisceau de lumière dans un système qui dirige ou concentre la lumière. - Comparer expérimentalement quelques caractéristiques de différents systèmes de focalisation réels et de leurs modèles simplifiés.

- Déterminer expérimentalement un angle d'incidence limite.

Utiliser l'énergie transportée par les ondes

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transport d'énergie. Grandeurs radiométriques : flux énergétique, éclairement énergétique. Laser. Effet sur la matière inerte et vivante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les unités des grandeurs radiométriques : flux énergétique, éclairement énergétique. - Déterminer expérimentalement un ordre de grandeur du flux énergétique d'un faisceau laser. - Mesurer un éclairement. - Relier l'énergie transportée par un rayonnement au flux énergétique et à la durée d'exposition. - Exploiter une norme pour déterminer une durée maximale d'exposition. - Énoncer et exploiter que le diamètre de la zone de focalisation du faisceau laser varie dans le même sens que la longueur d'onde. - Justifier l'utilisation d'un laser pour effectuer la découpe d'un matériau.
<p>Interférences constructives et destructives. Ondes stationnaires. Cavity résonante, modes propres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exprimer et exploiter une différence de marche pour en déduire les conditions d'obtention d'interférences constructives ou d'interférences destructives. - Mettre en évidence expérimentalement le phénomène d'interférence pour différents types d'ondes : sonores, lumineuses, mécaniques. - Distinguer les ondes stationnaires des ondes progressives. - Interpréter le phénomène d'ondes stationnaires en termes d'interférences. - Relier les fréquences de résonance des ondes stationnaires unidimensionnelles à la longueur d'une cavité.
<p>Polarisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Associer la polarisation d'une onde électromagnétique à la direction du champ électrique. - Différencier expérimentalement une lumière polarisée rectilignement d'une lumière non polarisée à l'aide d'un polariseur. - Illustrer expérimentalement le principe d'un afficheur à cristaux liquides. - Décrire le principe d'un interrupteur ou d'un modulateur optique.

Communiquer avec des ondes

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Ondes guidées, non guidées, transmission.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Illustrer expérimentalement différentes transmissions guidées d'ondes dans plusieurs domaines de longueur d'onde.

Guide d'onde, câble.	- Analyser l'effet de la résistance de charge sur la réflexion d'une onde à l'extrémité d'une ligne sans perte.
Absorption, diffusion, atténuation des ondes.	- Représenter le schéma de principe d'un système de transmission par ondes.
Spectre d'une onde.	- Visualiser et exploiter le spectre d'une onde modulée par un signal informatique.
	- Associer l'absorption d'une onde électromagnétique à la nature de la matière exposée.
	- Distinguer la diminution de la puissance surfacique d'une onde divergente et son absorption par un milieu.

Chimie et développement durable

Dans la continuité de la classe de première, le module « chimie et développement durable » prolonge et renforce, en classe terminale, l'acquisition par les élèves de connaissances et de capacités, tout à la fois dans le champ théorique et dans le champ expérimental, pour réaliser et comprendre **les synthèses chimiques et les analyses physico-chimiques**.

Les notions et les lois classiquement étudiées en thermodynamique, en cinétique, en chimie organique, en chimie générale sont introduites ici pour résoudre des problématiques sociétales et pour répondre à des objectifs d'optimisation des techniques et des procédés en termes de rendement, de fiabilité, de sécurité, de seuil de détection, d'impact environnemental et de coût.

Le programme de la classe terminale comporte, comme en classe de première, **deux parties, synthèses chimiques et analyses physico-chimiques**, qui sont enrichies en s'appuyant sur les notions d'équilibre chimique et d'évolution d'un système étudiés dans l'enseignement « chimie-biochimie-science du vivant ». Tout en conservant comme fil conducteur la recherche de procédés durables, il est souhaitable de partir d'exemples concrets de techniques et de procédés mis en œuvre dans les laboratoires et dans l'industrie, tout à la fois pour engager la réflexion et pour réinvestir les nouvelles connaissances et capacités acquises.

Objectifs visés par le programme de terminale

À l'issue de la classe terminale, le programme du module « chimie et développement durable » vise à ce que l'élève fasse preuve de réelles compétences :

- en synthèse chimique pour analyser ou choisir un protocole de synthèse et de séparation, en utilisant les capacités acquises en thermodynamique et en cinétique des transformations physico-chimiques ;
- en analyse physico-chimique pour effectuer un choix raisonné de techniques de dosages, pour proposer et mettre en œuvre en autonomie un protocole et pour fournir des résultats de mesure les plus précis possibles, assortis d'incertitudes ;
- dans l'utilisation des modèles pour prévoir, confronter les prévisions aux résultats expérimentaux et interpréter les écarts.

Articulation des programmes de première et de classe terminale

Synthèses chimiques

En classe de première, après une sensibilisation à l'impact environnemental de la chimie, des synthèses organiques sont réalisées et mises en relation avec la réactivité de quelques composés organiques. La problématique des rendements de synthèse et de la qualité des produits obtenus amène à étudier les principales techniques de séparation et de contrôle de pureté. Enfin, l'amélioration des synthèses est abordée à travers les aspects cinétiques des transformations.

En classe terminale, l'étude de l'optimisation des synthèses conduit à s'interroger sur les différentes méthodes permettant de dépasser les limitations thermodynamiques : modification des états d'équilibre par excès de réactif ou soutirage d'un produit, éloignement de l'équilibre par les transformations forcées, amélioration des rendements de

synthèse par changement de réactifs ou par utilisation de catalyseurs sélectifs. Quelques synthèses inorganiques sont proposées, au cours desquelles les complexes sont introduits. Les techniques de séparation et de purification portent sur les extractions (extraction par solvant et précipitation sélective) ; les modèles thermodynamiques y sont mis en œuvre dans le cadre de prévisions. Un passage au niveau microscopique permet d'initier les élèves à la modélisation des réactions par des mécanismes réactionnels afin de leur en donner des clés de lecture et de renforcer les notions de donneur et d'accepteur d'électrons.

Analyses physico-chimiques

En classe de première, l'analyse aborde des aspects qualitatifs relatifs aux tests d'identification et à l'analyse structurale, mais aussi des aspects plus quantitatifs avec la réalisation de dosages par étalonnage et une première approche des titrages, directs et indirects, avec des suivis colorimétrique, conductimétrique et pHmétrique.

En classe terminale, ces thématiques sont prolongées et d'autres sont introduites. La préparation des solutions complète la description de la composition des solutions ainsi que les problèmes liés à leur conservation. Les dosages par étalonnage permettent d'étudier de manière plus approfondie les mesures conductimétriques. Les dosages par titrage, quant à eux, sont enrichis par des titrages mettant en jeu des réactions de précipitation et des indicateurs colorés. Les capteurs électrochimiques constituent une nouvelle thématique qui permet d'aborder la notion d'électrode spécifique et d'analyse en temps réel.

Modalités

La structure du programme ne doit pas être perçue comme une entrave à la liberté pédagogique du professeur. Par exemple, l'optimisation du rendement d'une synthèse peut être étudiée en mettant en œuvre simultanément un dosage d'un type nouveau ; un temps étant consacré ensuite pour structurer les différentes notions étudiées.

Le professeur proposera un rythme et des activités d'apprentissage en articulation avec les enseignements obligatoires spécifiques « physique-chimie » et « chimie-biochimie-science du vivant ».

La présentation d'une chimie moderne au service des grandes causes sociétales et soucieuse de s'engager dans des démarches éco-compatibles peut permettre à la chimie de changer positivement et durablement la perception qu'en a la société, et en tout premier lieu les élèves.

Rendre les élèves acteurs de leurs apprentissages à travers questionnements et résolutions de problèmes en lien avec l'avenir de l'Homme apparaît de nature à éveiller leur curiosité, dynamiser leurs capacités inventives, solliciter leur imaginaire et leur donner envie de poursuivre plus avant leur formation scientifique en s'engageant dans des filières supérieures scientifiques.

Ainsi une approche la plus concrète possible des différentes thématiques constitue-t-elle un atout pour développer l'intérêt des élèves, mais aussi le développement progressif d'autonomie et d'initiatives dans la mise en œuvre des démarches scientifiques au laboratoire. Ceci est souhaité et souhaitable afin de garantir la réussite des élèves dans l'enseignement supérieur.

Des capacités techniques, mais aussi des capacités cognitives et des attitudes spécifiques à cette pratique doivent être acquises au laboratoire.

Synthèses chimiques

Du macroscopique au microscopique dans les synthèses

Notions et contenus	Capacités exigibles
Échelle d'électronégativité et polarité des liaisons.	- Écrire les formules de Lewis des entités chimiques en faisant apparaître les charges et les charges partielles.
Nucléophilie, électrophilie et réactivité.	- Prévoir les déplacements électroniques possibles des sites nucléophiles vers les sites électrophiles.
Mécanismes réactionnels : - étapes d'un mécanisme ;	- Relier le formalisme des flèches représentant le déplacement de

<ul style="list-style-type: none"> - intermédiaires réactionnels ; - catalyseurs. 	<p>doublets électroniques à la formation ou à la rupture de liaisons dans les étapes d'un mécanisme fourni.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Repérer, dans une étape du mécanisme, les réactifs nucléophile et électrophile à l'aide des déplacements des doublets électroniques. - Reconnaître dans un mécanisme une addition, une substitution, une élimination et une réaction acide-base. - Retrouver l'équation d'une réaction à partir d'un mécanisme la modélisant au niveau microscopique. - Identifier un catalyseur dans un mécanisme fourni. - Montrer qu'un catalyseur renforce le caractère nucléophile ou électrophile d'un site.
<p>Profils réactionnels.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relier mécanisme et profil réactionnel : nombre d'étapes, intermédiaires réactionnels, étape cinétiquement déterminante, en comparant les énergies d'activation des différentes étapes.

Des synthèses avec de meilleurs rendements

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation spontanée et évolution d'un système vers un état d'équilibre. Augmentation du rendement de la synthèse d'un produit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pour une réaction de synthèse donnée par : <ul style="list-style-type: none"> . élimination d'un produit, . ajout d'un excès de réactif, . modification de la température ; - par changement d'un des réactifs ; - par limitation des réactions concurrentes : <ul style="list-style-type: none"> . chimiosélectivité, . régiosélectivité, . stéréosélectivité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justifier le caractère spontané d'une transformation en comparant le quotient de réaction Q_r et la constante d'équilibre K. - Déterminer un rendement de synthèse. - Inventorier les paramètres qui permettent d'améliorer le rendement d'une synthèse. - Reconnaître, entre deux protocoles, le paramètre qui a été modifié et justifier son rôle sur l'évolution du rendement. - Proposer et mettre en œuvre un protocole pour illustrer une amélioration du rendement d'une synthèse. - Comparer des protocoles de synthèse et choisir le plus performant (rendement, coût, respect de l'environnement).

Des synthèses forcées

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Électrolyse, électrosynthèse, photosynthèse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser expérimentalement et interpréter quelques électrolyses, dont celle de l'eau. - Identifier expérimentalement ou à partir du schéma du circuit électrique

	<p>la cathode et l'anode d'un électrolyseur.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévoir les réactions possibles aux électrodes, les couples mis en jeu étant donnés. - Identifier et/ou caractériser expérimentalement les espèces chimiques formées aux électrodes. - Écrire les équations des réactions aux électrodes connaissant les produits formés.
Transformation forcée : apport d'énergie et évolution hors équilibre du système.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer le caractère forcé des électrolyses et des photosynthèses, du caractère spontané d'autres transformations, en comparant l'évolution du quotient de réaction par rapport à la constante d'équilibre. - Repérer la source d'énergie mise en œuvre dans une transformation forcée.
Bilan de matière lors d'une électrolyse. Applications courantes des électrolyses à la synthèse.	<ul style="list-style-type: none"> - Prévoir les quantités de produits formés dans des cas simples et confronter les prévisions du modèle aux mesures. - Déterminer le rendement d'une électrosynthèse. - Citer quelques applications courantes des électrolyses : synthèse de métaux, de produits minéraux et organiques, stockage d'énergie, analyse et traitement de polluants. - Analyser différentes voies de synthèses et montrer que l'électrolyse peut permettre de respecter quelques principes de la chimie verte (matières premières renouvelables, non-consommation de ressources fossiles, absence de sous-produits carbonés).

Des synthèses inorganiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Synthèses inorganiques industrielles : aspects cinétiques, thermodynamiques, environnementaux.</p> <p>Un exemple de synthèse inorganique au laboratoire : la synthèse des complexes.</p> <p>Complexe, ion ou atome central, ligand, liaison.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser un ou plusieurs procédés industriels de synthèse d'une même espèce chimique en s'appuyant sur les principes de la chimie verte : <ul style="list-style-type: none"> . matières premières, . sous-produits, . énergie, . catalyseur, . sécurité. - Reconnaître dans un complexe : l'ion ou l'atome central, le ou les ligands, le caractère monodenté ou polydenté du ligand. - Décrire l'établissement de la liaison entre l'ion ou l'atome central et le ou les ligands selon le modèle accepteur-donneur de doublet électronique. - Écrire l'équation de la réaction associée à la synthèse d'un complexe.
Réaction de formation d'un complexe :	<ul style="list-style-type: none"> - Suivre un protocole de synthèse d'un complexe.

- constante de formation globale d'un complexe, - synthèse et analyse d'un complexe.	- Déterminer, à l'aide d'un tableau d'avancement, le réactif limitant dans la synthèse d'un complexe et en déduire le rendement de la synthèse. - Proposer ou suivre un protocole mettant en œuvre l'analyse qualitative et quantitative d'un complexe.
Complexes inorganiques, bio-inorganiques.	- Extraire des informations pour illustrer des applications des complexes inorganiques et bio-inorganiques.

Séparation et purification

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réaction de dissolution d'une espèce chimique dans l'eau. Solution saturée et notion de solubilité. Quotient de réaction et constante d'équilibre de dissolution.	- Illustrer expérimentalement la notion de solubilité. - Montrer que lors d'une dissolution le quotient de réaction Q_r évolue vers la constante d'équilibre K et qu'il ne peut l'atteindre que si la quantité d'espèce apportée est suffisante. - Associer solution saturée et système chimique à l'équilibre.
Solubilité d'une espèce chimique dans l'eau.	- Comparer et interpréter les solubilités de différentes espèces chimiques dans l'eau en termes d'interactions intermoléculaires et d'éventuelles réactions chimiques qu'elles engagent avec l'eau.
Paramètres influençant la solubilité d'une espèce chimique en solution aqueuse : - température ; - composition de la solution.	- À partir des caractéristiques de la réaction de dissolution d'une espèce chimique dans une solution aqueuse, prévoir les paramètres influençant sa solubilité (température, pH, ions communs).
Extraction d'une espèce chimique d'une phase aqueuse : - par dégazage ; - par solvant ; - par précipitation.	- Proposer un protocole pour extraire une espèce chimique dissoute dans l'eau. - Choisir un solvant pour extraire une espèce chimique et réaliser une extraction par solvant. - Proposer ou suivre un protocole pour extraire sélectivement des ions d'un mélange par précipitation.
Prévision de l'état final lors de la dissolution d'une espèce chimique dans l'eau.	- Prédire si la solution obtenue par dissolution d'une espèce chimique est saturée ou non en comparant Q_r et K . Confronter les prévisions du modèle de la transformation avec les observations expérimentales.
Séparation et développement durable.	- Extraire des informations pour justifier l'évolution des techniques de séparation et repérer celles qui s'inscrivent davantage dans le cadre du développement durable.

Analyses physico-chimiques

Préparation de solutions

Notions et contenus	Capacités exigibles
Solvant : eau distillée, eau permutée. - soluté : densité, titre massique, concentrations massique et molaire, toxicité ; . solution : stockage, rejet, recyclage.	<ul style="list-style-type: none"> - Justifier la nécessité d'utiliser de l'eau distillée ou permutée dans le cadre des analyses en solution. - Analyser l'eau avant et après distillation, avant et après passage sur une résine échangeuse d'ions. - Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide ou d'une solution de concentration connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus. - Déterminer la concentration d'une espèce chimique à partir du protocole de fabrication de la solution. - Adapter le mode d'élimination d'une solution à la tolérance admise dans les eaux de rejet. - Citer les paramètres d'influence sur le stockage de solutions : matériau du flacon, température, lumière.

Analyses qualitative et structurale

Notions et contenus	Capacités exigibles
Analyse qualitative : tests de reconnaissance, témoin. Analyse structurale : spectroscopie UV-visible, IR, RMN.	À l'aide de tables de données, de spectres ou de logiciels : <ul style="list-style-type: none"> - Proposer un protocole d'analyse qualitative pour valider une hypothèse émise sur la présence d'une espèce chimique. - Exploiter des spectres UV-visible pour caractériser une espèce chimique et choisir une longueur d'onde d'analyse quantitative. - Identifier des groupes fonctionnels par analyse d'un spectre IR. - Relier un spectre de RMN à une molécule donnée.

Dosage par étalonnage

Notions et contenus	Capacités exigibles
Conductimétrie : conductance, conductivité, conductivité ionique molaire.	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer un protocole pour identifier les paramètres d'influence sur la conductance - Utiliser un conductimètre pour mesurer la conductivité d'une solution. - Concevoir un protocole et le mettre en œuvre pour comparer qualitativement des conductivités ioniques molaires d'anions et de cations : confronter les classements expérimentaux obtenus à ceux issus des tables de données.

	- Concevoir un protocole et le mettre en œuvre pour déterminer la concentration d'une solution inconnue par comparaison à une gamme d'étalonnage.
Dosage rapide par confrontation à une échelle de teintes : bandelettes et pastilles commerciales.	- Mettre en œuvre un protocole de dosage rapide et comparer ses avantages et ses inconvénients en termes d'efficacité et de justesse.

Dosage par titrage

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions support de titrage : précipitation (suivi par conductimétrie).	- Proposer et réaliser un protocole de titrage mettant en jeu une réaction de précipitation suivie par conductimétrie. - Interpréter qualitativement l'allure de la courbe de titrage par suivi conductimétrique en utilisant des tables de conductivités ioniques molaires et en déduire le volume à l'équivalence du titrage.
Titrage avec indicateurs colorés Indicateur coloré acido-basique ; zone de virage. Choix d'un indicateur pour un titrage donné. Indicateur coloré de précipitation.	- Reconnaître expérimentalement et dans la description d'un protocole un indicateur coloré acido-basique. - Tracer le diagramme de prédominance des deux formes d'un indicateur coloré pour en déduire la zone de virage. - Justifier le choix d'un indicateur coloré pour un titrage donné à partir de la courbe de titrage pHmétrique et/ou des diagrammes de prédominance. - Proposer et réaliser un protocole de titrage mettant en œuvre un indicateur coloré. Repérer expérimentalement l'équivalence. Interpréter le comportement de l'indicateur dans le cas du titrage d'ions halogénure selon la méthode de Mohr. - Réaliser et exploiter un titrage d'ions halogénure selon la méthode de Mohr.

Capteurs électrochimiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Électrode. Potentiel d'électrode : électrode standard à hydrogène, électrode de référence, relation de Nernst, potentiel standard. Le potentiel d'électrode, un outil de prévision : - polarité et tension à vide (fem) des piles,	- Identifier, dans une pile, une électrode comme un système constitué par les deux membres d'un couple oxydant/réducteur et éventuellement d'un conducteur. - Relier le potentiel d'électrode à la tension à vide de la pile constituée par l'électrode et l'électrode standard à hydrogène (ESH). - Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour déterminer un potentiel d'électrode à l'aide d'électrodes de référence.

<p>- sens spontané d'évolution d'un système, siège d'une réaction d'oxydo-réduction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer expérimentalement les paramètres d'influence sur un potentiel d'électrode. - Concevoir et mettre en œuvre un protocole pour déterminer ou vérifier la relation entre le potentiel d'électrode et les concentrations des constituants du couple.
<p>Classement des oxydants et des réducteurs : échelles de potentiels, échelles de potentiels standards, relation entre différence des potentiels standards et caractère plus ou moins favorisé d'une transformation. Électrode spécifique, dosages par capteurs électrochimiques. Analyse en temps réel pour prévenir toutes pollutions et limiter les risques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Écrire la relation de Nernst pour un couple donné. - Utiliser la relation de Nernst pour déterminer un potentiel d'électrode. - Prévoir, à l'aide des potentiels d'électrode, la polarité d'une pile, sa tension à vide (E_{em}) et son évolution lors de son fonctionnement et valider expérimentalement ces prévisions. - Prévoir le sens spontané d'évolution lors d'une transformation rédox à l'aide des potentiels d'électrode des couples mis en jeu et confronter expérimentalement le modèle. - Interpréter l'absence de l'évolution prévue pour un système en termes de blocage cinétique. - Comparer les pouvoirs oxydants (les pouvoirs réducteurs) d'espèces chimiques à l'aide d'une échelle de potentiels d'électrode. - Prévoir le caractère favorisé d'une transformation à l'aide d'une échelle de potentiels standards. - Identifier une électrode à un « capteur électrochimique » spécifique d'une espèce chimique. - Relier le potentiel d'une électrode spécifique d'une espèce chimique à sa concentration. - Concevoir et mettre en œuvre un protocole de dosage par étalonnage d'une espèce chimique à l'aide d'un capteur électrochimique. - Extraire des informations pour illustrer des applications historiques, actuelles et en développement des capteurs électrochimiques, notamment dans le cadre de mesures environnementales : mesures de traces d'éléments, dosage de gaz (polluants, sonde lambda), analyse en temps réel et transmission des données pour contrôle et régulation.

Choix d'une technique d'analyse

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Critères de choix :</p> <ul style="list-style-type: none"> - coût ; - durée ; - justesse et fidélité ; - seuil de détection ; - discrimination de plusieurs espèces dans le cas d'un mélange. 	<p>Choisir, parmi plusieurs techniques, la plus performante pour un critère donné (coût, durée, justesse et fidélité, seuil, discrimination de plusieurs espèces) en s'appuyant sur son principe, sa mise en œuvre et ses résultats expérimentaux pour une analyse donnée.</p>

Systèmes et procédés

La complexité du monde actuel est une évidence ; elle apparaît distinctement aussi bien dans les phénomènes naturels, dont l'évolution est déterminée par des facteurs multiples et interdépendants, qu'à travers les réalisations technologiques contemporaines. Celles-ci résultent de la synergie de disciplines variées, de la contribution et du croisement de différents points de vue intégrant même les grands enjeux sociaux et économiques. Cette complexité exige que la formation scientifique des jeunes ne s'enferme pas dans des démarches analytiques et encyclopédiques attachées principalement à des objets et à des modèles standardisés ainsi qu'à des domaines de savoirs compartimentés. Cette formation doit s'ouvrir à des approches plus globales, plus synthétiques et plus intégratives, en se référant en permanence aux réalités constitutives de l'environnement immédiat. C'est assurément l'une des clés pédagogiques pour susciter chez les élèves l'intérêt, la curiosité et le désir d'apprendre mais aussi pour leur permettre de développer les compétences transversales dont ils auront besoin dans leurs vies professionnelle et personnelle.

À cet égard, l'organisation en thématiques des contenus des enseignements de tronc commun et de spécialité est destinée à favoriser une telle évolution dans le transfert des connaissances.

L'enseignement « systèmes et procédés » en classe terminale doit largement accompagner cette mutation. Il est conçu principalement pour répondre aux objectifs suivants :

- faire acquérir aux élèves des méthodes d'analyse permettant de mobiliser et d'organiser leurs connaissances afin d'appréhender les procédés physico-chimiques industriels et de laboratoire actuels et à venir, de façon à en garantir la pratique maîtrisée et optimale ;
- leur faire percevoir que les concepts et les modèles des sciences de la matière permettent de décrire le fonctionnement des réalisations technologiques contemporaines simples ou complexes et que leur connaissance a été essentielle pour les concevoir, les réaliser ou pour envisager des innovations ;
- leur montrer que la conception et la réalisation des systèmes et procédés ont le plus souvent impliqué des démarches de résolution de problèmes scientifiques, faisant ainsi progresser les savoirs ;
- leur donner une vision moins parcellisée et moins dispersée du savoir, les systèmes actuels et à venir nécessitant, de par leur complexité, une culture scientifique pluridisciplinaire beaucoup plus large et plus globale ;
- développer leurs compétences pour élaborer des modèles, pour expliquer, pour comprendre, pour prévoir et pour agir efficacement ;
- favoriser, à travers l'approche de la complexité du réel, des attitudes et des usages personnels et professionnels plus attentifs à la préservation de l'environnement, à la pluralité des points de vue, à la coopération et à la pluridisciplinarité.

Les **systèmes supports de cet enseignement** sont des dispositifs matériels **réels** d'usage public ou privé ou **didactisés**, caractérisés par leur fonction globale impliquant un ou plusieurs phénomènes physico-chimiques « internes ». Ils sont constitués d'éléments ou de parties en interaction concourant à la mise en œuvre optimisée de la fonction globale opérant sur la grandeur d'entrée (matière, énergie ou information) pour donner la grandeur de sortie. Les relations fonctionnelles d'entrée-sortie peuvent être des transformations qualitatives, des transformations quantitatives, des opérations de stockage, de transport, de tri, etc. On s'intéressera tout particulièrement aux performances et aux solutions scientifiques ayant favorisé des perfectionnements du système ou susceptibles d'amener des innovations, en croisant différents points de vue : coût, rendement, protection de l'environnement, acceptabilité sociale, etc. Des comparaisons entre systèmes remplissant la même fonction peuvent être très fécondes pour remobiliser les compétences et exercer l'esprit critique.

Pour atteindre les objectifs visés par cet enseignement, les élèves sont mis en présence de **systèmes réels ou didactisés**, finalisés et conçus pour assurer une ou des fonction(s) déterminée(s) à travers la mise en œuvre d'un ou de plusieurs procédé(s) physico-chimique(s) ; leur conception a, le plus souvent, obligé à résoudre un (ou des problèmes), scientifique(s) et technologique(s) spécifique(s). Ils sont utilisés dans la « vie réelle » : dans les laboratoires, dans les industries de procédés, dans les activités personnelles ou de services, etc. Ils doivent donner

lieu, au laboratoire du lycée, à des activités expérimentales de physique et de chimie réalisées par les élèves et à des synthèses collectives permettant la structuration des connaissances.

Organisation de l'enseignement

L'enseignement est développé à partir de quelques systèmes en usage dans l'espace public ou dans la sphère privée, choisis en début d'année scolaire par l'équipe pédagogique comme supports d'apprentissage.

Tout en cherchant prioritairement à exploiter les ressources matérielles de l'établissement, l'équipe ne devra pas aller au-delà d'un nombre de six systèmes différents étudiés dans l'année scolaire. De plus, les interactions avec l'environnement socio-économique de l'établissement doivent permettre de disposer de supports matériels pertinents, récents et bien documentés.

Néanmoins, il pourra se faire que, pour de multiples raisons, les systèmes envisagés ne puissent être physiquement disponibles au laboratoire ; le dossier scientifique remis aux élèves, fil directeur de l'étude, devra, dans ce cas, être suffisamment documenté, notamment sur le plan scientifique et technologique, pour les aider à se construire une représentation aussi proche que possible de la réalité tout en ouvrant sur des activités concrètes de laboratoire. Des visites de laboratoires et d'entreprises viendront compléter utilement la formation.

Le système

Quand le système est présent dans l'établissement sous sa forme réelle - industrielle ou de laboratoire ou didactisée -, une première approche globale sera envisagée afin de définir dans un premier temps les principales caractéristiques du système :

- fonction(s) globale(s) réalisée(s) ;
- grandeurs ou flux d'entrée et de sortie ;
- principales performances attendues ;
- dimensions économique et sociétale.

Si le système le permet, une analyse progressive de son fonctionnement, en s'appuyant sur le système lui-même, pourra être conduite parallèlement à des études sur maquettes ou sur montages.

Quand le système n'est pas présent dans l'établissement, un travail préliminaire sur le dossier scientifique permettra de dégager ses principales caractéristiques.

Une analyse progressive du fonctionnement sur le système lui-même pourra être conduite parallèlement à des études sur maquettes ou sur des montages.

Du système aux procédés

À partir des éléments constitutifs du système, on dégagera progressivement les concepts et les modèles physiques ou chimiques correspondant aux opérations mises en œuvre dans le système étudié en se gardant de tout développement théorique qui ne se justifierait pas. Les notions seront apportées au fur et à mesure de leurs besoins. Dans certains cas, l'analyse ne pourra donc être prolongée jusqu'au niveau le plus fin.

Ce sera l'occasion de réinvestir des notions déjà rencontrées dans les autres parties des programmes de la série STL, tant au niveau de la classe de première qu'au niveau de la terminale. Ce sera aussi l'occasion d'introduire de nouvelles notions nécessaires à la compréhension du fonctionnement du système.

L'usage d'outils mathématiques qui ne seraient pas au programme de cette série est proscrit.

L'équipe pédagogique de sciences physiques et chimiques devra s'efforcer de trouver un juste équilibre entre plusieurs critères :

- la disponibilité locale de systèmes et leur pertinence ;
- la diversité des procédés ;
- la diversité des domaines scientifiques explorés au travers des systèmes étudiés : pré-requis et compléments scientifiques compatibles avec les contraintes (durée à consacrer, adaptation au niveau de la classe terminale, outils et matériels nécessaires, etc.).

L'ensemble des notions et contenus nouveaux et des capacités complémentaires à faire acquérir lors de cet enseignement est précisé dans le tableau « **Capacités complémentaires à celles des autres programmes** ». Ce

tableau définit les limites qu'il faut donner à la formation en termes de capacités à maîtriser par les élèves à la fin de la scolarité.

Le programme propose cinq exemples. Ils donnent des indications sur le choix des systèmes étudiés et sur l'articulation avec les différentes notions du programme.

Ils sont structurés de la manière suivante :

- une brève description du procédé étudié ;
- les notions déjà étudiées dans les différents programmes de la série STL (« physique-chimie » en première et en terminale (première PC et terminale PC), « mesures et instrumentation » (MI), « sciences physiques et chimiques en laboratoire » en première et en terminale (première PCL et terminale PCL), etc.) ;
- les nouvelles notions nécessaires pour l'étude du procédé.

Tout autre système et tout autre procédé permettant d'aborder les capacités complémentaires à celles des autres programmes et revêtant une réalité dans les espaces public ou privé peuvent être choisis par les équipes pédagogiques.

Si l'ensemble des notions à introduire doit être couvert, il est par ailleurs souhaitable qu'elles soient communes à plusieurs procédés afin de permettre aux élèves de les réinvestir dans des contextes différents.

Capacités exigibles complémentaires à celles du tronc commun

Thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transfert d'énergie d'une source froide à une source chaude. Transfert d'énergie sous forme de travail et de chaleur. Modèle du gaz parfait. Premier principe et second principe de la thermodynamique.	<ul style="list-style-type: none"> - Pour une pompe à chaleur, un climatiseur ou un réfrigérateur : décrire le principe de fonctionnement ; identifier les transferts d'énergie mis en jeu et réaliser le bilan énergétique. - Citer l'influence de la différence de température des deux sources sur le coefficient de performance d'une pompe à chaleur ou d'un climatiseur. - Distinguer un échange d'énergie par travail et par transfert thermique. - Expliquer comment une compression ou une détente augmente ou abaisse la température d'un gaz. - Appliquer le principe de conservation de l'énergie à une machine ditherme. - Énoncer le second principe de la thermodynamique comme l'impossibilité d'un transfert thermique spontané d'une source froide vers une source chaude. - Énoncer et exploiter, dans le cadre du second principe, la relation entre les énergies échangées par transferts thermiques et les températures des sources pour une machine ditherme. - Définir, exprimer et calculer le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique. - Distinguer le coefficient de performance d'une machine thermique de son efficacité thermodynamique.
Irréversibilité.	- Identifier des causes d'irréversibilité.
Flux thermique en régime permanent.	- Déterminer expérimentalement le flux thermique échangé par les fluides

Échangeur thermique.	<p>dans un échangeur liquide-liquide.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Évaluer à partir de données expérimentales le coefficient global d'échange.
Phénomènes de transport.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en évidence expérimentalement le phénomène de diffusion. - Mettre en évidence expérimentalement l'influence de la température sur la diffusion. - Mettre en évidence expérimentalement l'effet de la masse molaire moléculaire des espèces sur la diffusion.
Diagrammes binaires. Distillation.	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser et légènder le tracé d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur d'un mélange binaire à partir des courbes d'analyse thermique et de la composition des phases liquide et gaz. - Exploiter un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur pour identifier le composé le plus volatil et reconnaître la présence d'un azéotrope. - Dèduire d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur, la composition des premières bulles de vapeur formées. - Prévoir la nature du distillat et du résidu d'une distillation fractionnée avec ou sans azéotrope. - Analyser par réfractométrie la composition d'un mélange à partir d'une courbe d'étalonnage. - Identifier les paramètres agissant sur le pouvoir séparateur des colonnes. - Expliquer l'intérêt à réaliser une distillation sous pression réduite. - Identifier dans un système complexe les éléments constituant la distillation.

Mécanique des fluides

Notions et contenus	Capacités exigibles
Conservation de l'énergie. Fluide incompressible en mouvement. Puissance hydraulique. Pertes de charge.	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer et exploiter la loi de conservation de l'énergie d'un fluide incompressible en mouvement. - Déterminer expérimentalement l'influence de quelques paramètres sur les pertes de charge : vitesse d'écoulement, longueur et section de la canalisation, singularités.

Énergie électrique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle d'un dipôle actif, limitation du modèle. Caractéristique d'un générateur. Caractérisation physique des	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer expérimentalement la caractéristique d'un générateur. - Visualiser une représentation temporelle d'une tension électrique, d'une intensité électrique en régime périodique et en analyser les caractéristiques. - Visualiser une représentation temporelle de la puissance instantanée

grandeurs liées au transport de l'énergie électrique.	consommée ou fournie par un dipôle en régime périodique et mesurer sa valeur moyenne. - Distinguer puissance moyenne et puissance instantanée. - Interpréter les données fournies par un analyseur d'énergie électrique industriel.
Conversion statique de l'énergie électrique.	- Énoncer et exploiter la loi de conservation de l'énergie pour un convertisseur statique idéal. - Associer l'onduleur à un convertisseur continu-alternatif. - Associer le redresseur à un convertisseur alternatif-continu.

Traitement du signal

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle d'un dipôle actif, limitation du modèle. Caractéristique de transfert statique d'un capteur. Conditionneur de capteur.	- Déterminer expérimentalement la caractéristique de transfert statique d'un capteur. - Visualiser la réponse temporelle d'un capteur. - Déterminer le temps de réponse d'un capteur. - Visualiser et exploiter la caractéristique de transfert d'un ensemble capteur-conditionneur.
Filtrage et amplification de tension. Gabarit.	- Exploiter la courbe du coefficient d'amplification en fonction de la fréquence d'un amplificateur pour déterminer ses limites d'utilisation. - Déduire les propriétés d'un filtre de la courbe représentant le coefficient d'amplification en fonction de la fréquence. - Proposer un gabarit de filtre pour répondre à un cahier des charges.
Numérisation d'une tension.	- Citer les caractéristiques utiles d'un CAN : nombre de bits, quantum, fréquence de conversion.

Contrôle et régulation

Notions et contenus	Capacités exigibles
Aspect fonctionnel. Boucle de régulation. Schéma fonctionnel, chaînes d'action et de retour, correcteur.	- Identifier, nommer et connaître la fonction des éléments constitutifs d'une boucle de régulation. - Établir le schéma fonctionnel d'une boucle de régulation. - Citer la nature des signaux d'interconnexion des éléments constitutifs des chaînes d'action et de retour ainsi que les valeurs normalisées les plus courantes.

Grandeurs fonctionnelles : grandeurs réglées, réglantes et perturbatrices.	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les grandeurs fonctionnelles d'une boucle de régulation. - Placer les grandeurs fonctionnelles sur un schéma fonctionnel.
Caractéristiques statiques et dynamiques. Systèmes stable et instable.	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les définitions d'un système stable ou instable.
Caractéristique statique : gain statique ; point de fonctionnement.	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer et exploiter la caractéristique statique d'un procédé stable. Calculer, au point de fonctionnement, le gain statique. - Mettre en évidence expérimentalement le déplacement du point de fonctionnement quand la perturbation varie.
Caractérisation des modèles comportementaux : caractéristiques dynamiques des procédés, comportement autour d'un point de fonctionnement.	<ul style="list-style-type: none"> - Différencier le comportement des systèmes par leur réponse à un échelon de commande. - Déterminer les paramètres intrinsèques des procédés : <ul style="list-style-type: none"> . pour un système stable : le gain statique, la constante de temps, le temps mort, . pour un système instable ou intégrateur : le gain dynamique et le temps mort.
Régulation à action discontinue (TOR).	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer et exploiter l'évolution des grandeurs à partir d'une consigne fixe pour les régulations TOR à un seuil et à deux seuils de basculement.
Régulation à action continue (PI) : critères de performance d'une boucle d'asservissement ou de régulation : - précision ; - rapidité ; - amortissement.	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer les critères de performance en boucle fermée, autour d'un point de fonctionnement, suite à un échelon de consigne : <ul style="list-style-type: none"> . l'écart statique, . le temps de réponse à 5 %, . la valeur du 1^{er} dépassement. - En asservissement et en régulation, pour un échelon de consigne ou de la perturbation : <ul style="list-style-type: none"> . Mettre en évidence expérimentalement l'influence du gain sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et le dépassement pour une correction proportionnelle. . Mettre en évidence expérimentalement l'influence d'une correction intégrale sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et le dépassement. - Comparer l'intérêt relatif d'une régulation à action discontinue et d'une régulation à action continue (avec correcteur PID) dans un contexte donné.

Matériaux

Notions et contenus	Capacités exigibles
---------------------	---------------------

Familles de matériaux.	- Différencier les grandes familles de matériaux (céramiques, métaux et alliages, verres, matières plastiques, composite, matériaux naturels, etc.).
Propriétés physico-chimiques des matériaux.	- Citer quelques propriétés physiques et chimiques d'un matériau utilisé dans un système : résistance mécanique, tenue en température et inertie chimique, densité, dureté, conductivités, porosité et état de surface, perméabilité, propriétés optiques.
Choix du matériau.	- Proposer, en argumentant à partir d'une documentation, un matériau adapté à une partie d'un système donné, en fonction d'un cahier des charges (propriétés d'usage, capacités de durabilité, durée de vie, recyclage, impact économique, impact environnemental et sociétal).

Annexe

Exemple 1 : production autonome d'électricité

Système étudié : installation photovoltaïque

Entrée :	Sortie :	
Rayonnement solaire	Puissance électrique	
Besoins : alimentation autonome en électricité		
Fonctions	Notions et contenus des programmes	Notions et contenus complémentaires
Capture de l'énergie solaire	Coefficient de transmission énergétique (Tale PCL)	Matériaux
Conversion de l'énergie solaire en énergie électrique	Spectre de la lumière du soleil, longueur d'onde (1ère PCL + 1ère PC) Énergie et puissance électriques (1ère PC)	Caractéristique d'un générateur
	Effet photovoltaïque Interaction rayonnement matière (1ère PCL) Énergie d'un photon (1ère PCL + Tale PC) Conversion photovoltaïque (Tale PC) Mesure de flux lumineux (1ère PC et 1ère PCL) Photo détecteurs (1ère PCL)	

Stockage de l'énergie	Transformations chimiques et transformation d'énergie électrique (Tale PC) Piles, accumulateurs, piles à combustibles (Tale PC)	
Régulation de la puissance fournie à la batterie par la cellule	Loi des nœuds et lois des mailles (1ère PC)	Régulation
Conversion statique de l'énergie électrique (continu alternatif)	Énergie et puissance électrique (1ère PC) Bilan énergétique (1ère et Tale PC)	Convertisseurs statiques
Surveillance et mise en sécurité de la batterie	Chaîne de mesure (MI)	

Exemple 2 : chauffage

Système étudié : installation domestique utilisant une pompe à chaleur. Exemple de la pompe à chaleur air/eau, technologie « fluides intermédiaires »

Entrée :	Sortie :	
énergie interne de l'air extérieur et énergie électrique	énergie interne de l'air intérieur	
Besoin : maintien de la température dans un espace de volume donné		
Fonction	Notions et contenus des programmes	Notions et contenus complémentaires
Transfert thermique entre deux fluides Stockage d'énergie	Énergie interne et température, capacité thermique massique (1ère PC) Mesure de pression (MI) Mesure de température (MI) Transformations physiques et effets thermiques associés : transfert thermique et changement d'état (Tale PC) Changements d'états d'un fluide (Tale PC).	Transfert d'énergie d'une source froide à une source chaude Transfert d'énergie sous forme de travail et de chaleur, cycle, efficacité Premier principe et second principe de la thermodynamique Modèle du gaz parfait Irréversibilité
Échange thermique	Mesure de température (MI) Convection et conduction (1ère PC)	Flux thermique en régime permanent

Ventilation		Échangeur thermique
Circulation d'un fluide	Écoulement stationnaire Loi de conservation de la masse, fluide parfait et incompressible (Tale PC) Mesures de débit (MI)	Fluide incompressible en mouvement Puissance hydraulique Pertes de charge
Maintien en température d'une enceinte	Bilan thermique expérimental d'une enceinte (1ère PC)	
Conversion de l'énergie électrique	Moteur et compresseur (Tale PC) Puissance absorbée, puissance utile, rendement (Tale PC) Convertisseur électromécanique (Tale PC)	
Régulation de température	Mesure de température, capteur de température (MI) Chaîne de traitement (MI)	Système bouclé TOR

Exemple 3 : séparation de constituants chimiques

Système étudié : distillateur

Entrée :	Sortie :	
liquide(s) à distiller	distillat purifié et résidu de distillation	
Besoin : obtention d'un ou plusieurs composés chimiques		
Fonctions	Notions et contenus des programmes	Notions et contenus complémentaires
Chauffage d'un mélange	Énergie et puissance électrique (1ère PC) Énergie électrique et effet Joule (1ère PC) Solvant, soluté, concentration (2de, 1ère PCL) Changement d'état (liquide-vapeur) (Tale PC) Bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire (1ère PC)	
Séparation de constituants	Distillation (1ère PCL)	Diagrammes binaires

Refroidissement du distillat	Transferts thermiques (PC) Changement d'état (vapeur-liquide) (Tale PC) Puissance thermique (1ère PC) Rendement thermique (Tale PC)	
Contrôle et régulation de la température	Énergie interne, température (1ère PC) Mesure de température (MI)	Boucle de régulation Régulation à action discontinue (TOR)
Contrôle et régulation des débits d'eau de refroidissement et de distillat	Écoulement stationnaire (Tale PC) Débit volumique et massique (Tale PC)	Boucle de régulation Régulation à action continue

Exemple 4 : production autonome d'électricité avec une pile à combustible

Système étudié : pile à combustible

Entrée :	Sortie :	
Réactifs Hydrogène et oxygène (air) ou Méthanol et oxygène (air)	Énergie électrique	
Besoin : fournir une puissance électrique sous une tension donnée		
Fonction	Notions et contenus des programmes	Notions et contenus complémentaires
Stockage des réactifs Stockage de l'hydrogène Stockage du méthanol	Mesure de pression (MI ; Tale PC) Mesure de volume (MI) Analyse des risques (1ère PC)	Modèle du gaz parfait
Humidification des gaz à l'entrée	États de la matière. Transfert thermiques et changements d'état. Transformations physiques et effets thermiques (Tale PC)	Régulation
Détente et compression des gaz	Mesure de pression (MI) Mesure de débit (MI ; Tale PC) Débit volumique (Tale PC)	Régulation de pression et de débit (continue et discontinue)

Conversion d'énergie chimique en énergie électrique	Transformation chimique et transfert d'énergie sous forme électrique (Tale PC) Piles à combustible (Tale PC) Catalyseurs (Tale PC)	Propriétés physico-chimiques des matériaux Puissance moyenne et puissance instantanée
Régulation de la température de l'empilement des modules	Bilan thermique expérimental d'une enceinte (1ère PC) Mesure de température (MI ; 1ère PC)	Régulation
Régulation de tension	Mesure de tension, capteur de courant (MI) Tension et intensité électriques dans un circuit en régime continu (1er PC) Conditions d'utilisation optimales d'une batterie (Tale PC) Chaîne de traitement (MI)	Caractéristique d'un générateur Système bouclé Régulation

Exemple 5 : obtention d'eau douce

Système réel étudié : osmoseur pour la plaisance

Entrée :	Sortie :	
eau de mer	eau douce	
Besoin : quantité quotidienne d'eau douce		
Fonction	Notions et contenus des programmes	Notions et contenus complémentaires
Pompage et mise sous pression de l'eau de mer	Énergie et puissance électrique (1ère PC) Puissance absorbée, puissance utile, rendement d'un convertisseur électromécanique (Tale PC) Rendement, débit volumique (Tale PC)	Fluide incompressible en mouvement, conservation de l'énergie d'un fluide incompressible en mouvement Puissance hydraulique Conservation de l'énergie Pertes de charge
Prétraitements de l'eau (réduction du colmatage de la membrane et de la formation de précipités)	Nanomatériaux (1ère et Tale PC) Filtration (1ère PCL) Réactions de précipitation (Tale PCL) Polymères (1ère PC) Solubilité, polarité (Tale PC)	Matériaux : propriétés physicochimiques, choix

Diffusion au travers d'une membrane semi-perméable	Solvant, soluté, dissolution, concentration, dilution (2de, 1ère PCL) Séparation et purification (1ère PCL) Pression dans un fluide (2de, Tale PC) Polymères (1ère PC) Pression dans un fluide (2de, Tale PC) Écoulement d'un fluide, débit (Tale PC)	Phénomènes de transport
Contrôle en ligne des concentrations dans le perméat Récupération de l'énergie hydraulique du concentrat (turbopompes, turbines, échangeurs de pression)	Conductimétrie (1ère et Tale PCL) Écoulement d'un fluide, débit (Tale PC)	Fluide incompressible en mouvement Puissance hydraulique Conservation de l'énergie Pertes de charge

Spécial

Mesure et instrumentation en classe de première de la série STL

NOR : MENE1104103A
arrêté du 8-2-2011 - J.O. du 25-2-2011
MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'Éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du comité interprofessionnel consultatif du 4-2-2011 ; avis du CSE du 9-12-2010

Article 1 - Le programme de l'enseignement de mesure et instrumentation en classe de première de la série sciences et technologies de laboratoire (STL) est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2011-2012.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 8 février 2011

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et de la Vie associative
et par délégation,
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Mesure et instrumentation - classe de première

Il n'est plus guère de domaines de la vie des femmes et des hommes d'aujourd'hui qui ne soient tributaires de mesures ; omni-présentes dans tout ce qui touche de près à leur santé, à leur sécurité, à leurs vies professionnelles ou privées, à leurs loisirs, les mesures sont, bien plus encore, au cœur des activités scientifiques, industrielles, agro-alimentaires et commerciales.

Toutes ces activités exigent des moyens et des instruments de prise d'informations de plus en plus performants et fiables au rythme des évolutions technologiques et des besoins engendrés.

Les instruments de mesure permettent d'obtenir des résultats chiffrés de plus en plus fiables et précis, validés par les outils de la métrologie, science et pratique de la mesure. Ils exigent dans leur mise en œuvre une culture scientifique et technologique, constituant un socle nécessaire aux activités de laboratoire.

La métrologie est maintenant indispensable à toute démarche d'accréditation, de certification de méthodes et de techniques comme elle l'est dans les domaines du contrôle-commande et de la modélisation (par exemple en météorologie).

Il importe de faire acquérir, dès le lycée, les éléments fondamentaux de cette culture métrologique à travers une pratique soutenue et raisonnée d'activités expérimentales en laboratoire.

Objectifs de cet enseignement

Il vise l'appropriation progressive des outils et des démarches de mesurage, en lien avec les concepts, les modèles et les appareils qui leur sont intimement liés.

En association étroite avec les enseignements de spécialité (physique-chimie en laboratoire et biotechnologies) de chimie-biochimie-sciences du vivant et de physique-chimie de tronc commun, plusieurs situations de réalisation de mesures sont choisies afin de permettre aux élèves d'acquérir les connaissances et les capacités attendues, de réinvestir les compétences dans des contextes différents. Il ne s'agit donc pas d'effectuer des monographies sur les différentes parties du programme (liste de capteurs, d'appareils de mesure rencontrés dans les différents domaines, etc.) ni de rechercher l'exhaustivité mais d'installer les outils indispensables pour avoir un regard critique sur les résultats de mesure, regard nécessaire pour établir la confiance dans ces résultats et pour prendre des décisions.

Cela nécessite de :

- connaître le principe de mesure des instruments ;
- savoir utiliser les instruments ;
- connaître les paramètres influençant la qualité des résultats ;
- utiliser les outils informatiques pour acquérir et traiter des données ;
- vérifier l'acceptabilité des résultats ;
- identifier les sources d'erreurs ;
- exprimer correctement des résultats.

Des mises en situation de mesurage dans des contextes variés permettent d'atteindre les objectifs cités :

- mesure dimensionnelle ;
- mesure de vitesse et d'accélération ;
- mesure de durée ;
- mesure de température ;
- mesure de pression ;
- mesure de débit ;
- mesure de viscosité ;
- mesure de volume ;
- mesure de masse ;
- mesure de pH ;
- mesure de concentration ;
- mesure d'absorbance ;
- mesure de conductance ;
- techniques de dénombrement ;
- etc.

Les modalités d'enseignement fondées sur l'activité, l'analyse, l'investigation scientifique et le projet doivent susciter l'intérêt des élèves ainsi que le goût de la recherche et de l'effort.

Les technologies de l'information et de la communication ont une place toute particulière dans cet enseignement :

1. La plupart des chaînes de mesures sont numériques. Il est donc nécessaire que les élèves soient conscients des avantages et des limitations liées à l'utilisation des technologies du numérique.
2. Ces technologies permettent de fournir aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans entrer dans le détail des outils mathématiques utilisés. L'accent doit être mis sur la prise de conscience des sources d'erreurs et de leurs implications sur la qualité de la mesure.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Mesure et instrumentation - classe de 1ère de la série STL

Notions et contenus	Compétences
Mesure et incertitudes de mesure	
Définitions	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie.
Notions d'erreurs.	Identifier les limites du mesurage (étendue de mesure, seuil de détection, seuil de quantification, etc.). Identifier les différentes sources d'erreur lors d'une mesure (mesurage).
Notion d'incertitude.	Évaluer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. Comparer le poids des différentes sources d'erreur. Évaluer l'incertitude d'une mesure : - à partir de la documentation du constructeur ; - à l'aide d'une formule d'évaluation (fournie à l'élève) ; - donnée par un instrument analogique. Évaluer la valeur moyenne et l'écart-type expérimental d'une série de mesures effectuées dans des conditions de répétabilité. Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation (fournie à l'élève).
Expression et acceptabilité du résultat.	Exprimer le résultat d'un mesurage par une valeur mesurée et une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance.
	Définir les mesurages à conserver en fonction d'un critère donné. Faire des propositions pour améliorer la démarche.
	Vérifier un résultat de mesurage à l'aide d'un étalon. Évaluer l'exactitude de la mesure (fidélité et justesse).
Instrumentation : instruments de mesure, chaîne de mesure numérique	
Capteur et principe physique associé. Chaîne de traitement de l'information.	Associer la mesure d'une grandeur au principe physique d'un capteur. Mettre en œuvre un instrument de mesure, une chaîne de mesure numérique. Identifier les sources d'erreur et évaluer les incertitudes associées à chaque étage de la chaîne. Étalonner un capteur, un transmetteur, une chaîne de mesure numérique.
Utilisation des appareils de mesure. Choix des appareils. Étalonnage.	Dans le cadre d'une mesure, pour chaque appareil : - connaître la grandeur mesurée ; - choisir un instrument de mesure adapté en fonction de ses caractéristiques (sensibilité, temps de réponse, fidélité, justesse, étendue de mesure) ; - indiquer le capteur utilisé ; - identifier les éléments de la chaîne de mesure ; - utiliser l'appareil, à l'aide d'une documentation, dans le cadre d'un protocole de mesure ; - effectuer des mesures. Réaliser, régler et/ou étalonner les dispositifs expérimentaux dans les conditions de précision correspondant au protocole.
Les techniques de mesure	
Mesures absolues et mesures relatives. Mesures directes et indirectes. Mesure par comparaison, méthode de zéro.	Reconnaître les différents types de mesures. Choisir une technique de mesure et la mettre en œuvre afin de minimiser l'incertitude ou de limiter l'effet des grandeurs d'influence.

Spécial

Chimie, biochimie, sciences du vivant en classe de 1^{ère} de la série STL

NOR : MENE1104250A

arrêté du 8-2-2011 - J.O. du 25-2-2011

MEN - DGESCO A3-1

Vu code de l'Éducation ; arrêté du 27-5-2010 ; avis du comité interprofessionnel consultatif du 4-2-2011 ; avis du CSE du 9-12-2010

Article 1 - Le programme de l'enseignement de chimie, biochimie, sciences du vivant en classe de première de la série sciences et technologies de laboratoire est fixé conformément à l'annexe du présent arrêté.

Article 2 - Les dispositions du présent arrêté entrent en application à la rentrée de l'année scolaire 2011-2012.

Article 3 - Le directeur général de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 8 février 2011

Pour le ministre de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et de la Vie associative
et par délégation,Le directeur général de l'enseignement scolaire,
Jean-Michel Blanquer

Annexe

Chimie-biochimie - Science du vivant - classe de première de la série STL

Préambule

Lorsque Friedrich Wöhler synthétise l'urée, molécule organique, molécule du vivant, à partir d'isocyanate d'ammonium, composé minéral, un premier lien se tisse entre chimie, biochimie et science du vivant. Nous sommes en 1828. Ce lien n'a cessé de s'étoffer ensuite, de se renforcer. Les travaux de Pasteur, après la découverte en 1848, des deux formes énantiomères de l'acide tartrique, ont introduit l'idée de dissymétrie moléculaire propre au vivant, l'obtention de molécules optiquement actives étant issue de l'action d'un « ferment ». Des découvertes fondamentales surviennent en 1953 lorsque Francis Crick et James Watson publient dans « Nature » la célèbre structure en hélice de l'ADN sur la base de clichés de diffraction de rayons X et obtiennent le prix Nobel de physiologie et de médecine, puis, en 1954, lorsque Linus Pauling reçoit le prix Nobel de chimie pour « ses recherches sur la nature de la liaison chimique et leurs applications à la détermination de la structure de substances complexes » comme la conformation en hélice de certaines protéines. Très récemment, en 2008, le prix Nobel est donné à Shimomura, Chalfie et Tsien pour la découverte et les applications de la protéine fluorescente verte.

Depuis longtemps désormais, **l'interface entre chimie, biochimie et science du vivant** est le siège de découvertes et d'avancées scientifiques considérables. La science s'est appropriée cette interface et a définitivement abandonné le cloisonnement des champs disciplinaires ; les technologies suivent aussi cette évolution porteuse d'innovations. Ainsi, de nombreux secteurs d'activités se positionnent au carrefour de ces trois disciplines ; il est possible de citer par exemple la gestion et le traitement des eaux, les domaines de la santé, de l'agroalimentaire ou celui des agro-ressources, etc.

L'enseignement de chimie, biochimie, sciences du vivant est commun aux deux spécialités de la série STL : biotechnologies et sciences physiques et chimiques en laboratoire. Son objectif est de permettre aux élèves des filières technologiques, futurs techniciens, futurs ingénieurs, futurs chercheurs d'acquérir **une culture générale dans ces trois champs disciplinaires** qui se mêlent, s'enrichissent des apports de chacun, se questionnent et se répondent.

Il s'agit d'un **enseignement intégré** qui va permettre d'installer une culture commune, fondée sur une approche concrète et transdisciplinaire, concernant les systèmes vivants aux différentes échelles et d'apporter les concepts relatifs à chaque discipline au moment opportun, connaissances fondamentales et compétences transversales indispensables à la poursuite d'étude. Le choix est fait de privilégier les approches par des activités pratiques (expérimentales, de terrain, documentaires, etc.). Il ne s'agit pas d'une juxtaposition de disciplines sans lien entre elles, mais bien, dans cet enseignement innovant, de faire ressortir les connexions entre trois champs disciplinaires par le passage continu d'une discipline à l'autre. Ce programme a le souci d'harmoniser le vocabulaire utilisé pour favoriser la compréhension de l'élève. Celui-ci pourra alors plus facilement faire le lien d'une discipline à une autre au cours de ses études secondaires, tout en bénéficiant d'une grande ouverture d'esprit pour une poursuite d'études supérieures scientifiques.

L'enseignement de chimie, biochimie, sciences du vivant s'appuie comme pré-requis sur les enseignements de seconde (physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre). Ce programme est en cohérence avec l'enseignement de physique-chimie du tronc commun des séries STI2D et STL et avec les autres enseignements de la série STL : enseignement transversal de mesure et instrumentation et enseignements spécifiques dans l'une et l'autre des spécialités : biotechnologies » et « sciences physiques et chimiques en laboratoire.

L'enseignement de chimie, biochimie, science du vivant doit aussi permettre à l'élève, au travers d'**activités concrètes, pratiques et contextualisées**, d'acquérir autonomie, initiative, goût pour la démarche scientifique. Ceci constituera pour lui un bagage précieux pour réussir aussi bien au lycée que dans ses poursuites d'études. Il est essentiel que les enseignants consacrent du temps à conduire **une démarche scientifique** pour bien appréhender la façon dont se construit le savoir scientifique. La poursuite des objectifs de formation méthodologique implique le développement d'une pédagogie active, au cours de laquelle **l'élève participe** à l'élaboration d'un projet, à sa réalisation et à la conduite de ses propres apprentissages. La démarche d'investigation prend tout particulièrement du sens lorsqu'elle s'appuie **sur des travaux d'élèves produits lors d'activités pratiques diversifiées et sur l'exploitation de résultats expérimentaux issus le plus directement possible des laboratoires de recherche après transposition didactique.**

Dans ce contexte, il est fondamental que chaque élève ait l'occasion d'aller sur le terrain, d'expérimenter, de réaliser des dissections, de préparer et réaliser des observations microscopiques, d'acquérir des données à l'aide d'un ordinateur, d'utiliser des banques de données, de modéliser, de pratiquer une recherche documentaire.

Les activités expérimentales sont à privilégier notamment pour la richesse des apprentissages méthodologiques et techniques qu'elles permettent : mise au point d'un protocole adapté à une problématique scientifique préalablement définie, mise en œuvre d'un protocole, exploitation de résultats, confrontation d'une théorie avec des résultats expérimentaux, production et communication adaptées des travaux. Il convient alors d'exercer les élèves à conduire **une dialectique entre les faits et les idées**. Il est possible de partir des faits et, par raisonnement inductif, d'arriver à une représentation (l'idée) qui aura ainsi valeur d'interprétation ; il est également tout aussi possible de partir d'une représentation, de lui conférer un statut d'hypothèse et, par raisonnement déductif, de la confronter aux faits pour la valider. D'autre part, certaines thématiques se prêtent bien au développement d'une démarche historique; elle permet en particulier de montrer aux élèves l'importance du contexte socio-culturel et des conditions dans lesquelles se construisent les savoirs. Dans tous les cas, il appartient au professeur de choisir la démarche, les supports et les apprentissages les mieux appropriés au sujet traité et à ses objectifs formatifs.

Enfin, le travail de terrain est un moyen privilégié **d'aborder des situations complexes réelles**. Plusieurs parties du programme sont particulièrement bien adaptées à une telle approche : observation de biodiversités, étude de sols, d'éco et d'agrosystèmes, de processus industriels biotechnologiques. Ce travail doit s'exercer en cohérence avec un projet pédagogique pensé dans le contexte local de l'établissement.

Programme

Le programme de première comporte **quatre thèmes**. Chaque thème comporte une brève introduction qui en indique l'esprit général :

Thème 1 : Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière

Thème 2 : Les systèmes vivants échangent de la matière et de l'énergie

Thème 3 : Les systèmes vivants maintiennent leur intégrité et leur identité en échangeant de l'information

Thème 4 : Les systèmes vivants contiennent, échangent et utilisent de l'information génétique

Ces quatre thèmes seront prolongés en classe de terminale et seront complétés par un cinquième thème portant sur les systèmes vivants de grande échelle : écosystèmes et biosphère.

L'acquisition des **connaissances fondamentales**, la mobilisation de **capacités et d'attitudes** restent essentielles à la formation intellectuelle et citoyenne des élèves. Connaissances, capacités et attitudes présentes dans le programme définissent concrètement l'ensemble des **compétences** spécifiques à prendre en compte tant dans les procédures pédagogiques mises en œuvre que lors des évaluations qui leurs sont associées ; cet ensemble de compétences précise les limites des attendus du programme.

Ainsi, le programme est rédigé en **deux colonnes** intitulées :

Connaissances : dans la colonne de gauche, figurent résumés les savoirs, contenus cognitifs à acquérir. Les termes en gras sont des **mots clés** destinés à faciliter la lecture et le repérage. Le niveau visé est précisé par les capacités à mettre en œuvre ces connaissances dans une situation donnée, qui sont regroupées dans la colonne de droite.

Capacités : dans la colonne de droite sont précisés les savoir-faire, capacités à acquérir. Chaque partie est introduite par le type d'activités à mener avec les élèves afin de les amener à savoir mettre en œuvre les capacités explicitées par des verbes d'action dans le cadre de l'item décrit. Les termes et expressions libellés en caractères gras et en italique font référence à des **activités pratiques en laboratoire** réalisées par les élèves. Les ressources documentaires restent au choix de l'enseignant qui doit s'assurer de leur validité scientifique ; ce sont des supports papier, des ressources numériques, des vidéos, l'essentiel étant que les élèves soient habitués à exploiter des documents de natures différentes.

En ce qui concerne les **attitudes** ou savoir-être, il s'agit d'**attitudes communes** mobilisées dans la plupart des parties, aussi sont-elles données dans le préambule. Elles s'inscrivent toutes dans le prolongement du socle commun :

- Manifester sens de l'observation, curiosité, imagination, esprit critique.
- Montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques.
- Être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires.
- Avoir le goût du raisonnement fondé sur des arguments dont la validité est à prouver.
- Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement, la santé, le monde vivant.
- Avoir une bonne maîtrise de son corps.
- Respecter les règles de sécurité.
- Travailler en groupe, prendre en compte l'avis des autres.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Chimie-biochimie - Science du vivant - classe de 1ère de la série STL**Thème 1 - Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière**

Constitués des mêmes éléments chimiques, le monde minéral et le monde vivant se caractérisent par une structuration différente de la matière. Les systèmes vivants présentent une grande diversité d'organisation et de fonctionnement, néanmoins leur étude à différentes échelles révèle des indices de leur unité.	
Connaissances	Capacités
1.1 Les organismes vivants présentent une unité et une diversité	
L'observation des organismes vivants témoigne d'une biodiversité . Les organismes vivants partagent des caractères communs , qui permettent de les classer.	Extraire et organiser des informations à partir d'études de terrains , de ressources documentaires pour : - constater la biodiversité ; - mettre en relation les caractères communs des organismes vivants avec leur place dans une classification emboîtée.
1.2 Les organismes vivants peuvent être explorés par des techniques adaptées à chaque échelle	
L'imagerie médicale utilise différents signaux pour explorer le corps humain. Les structures anatomiques observables par imagerie médicale sont les os, les tissus mous et les cavités. Les signaux , rayons X et ultrasons, interagissent avec les structures anatomiques : transmission, absorption, réflexion.	Observer des clichés de radiographie aux rayons X et d'échographie pour : - annoter un schéma simplifié du principe de la technique d'imagerie ; - mettre en relation la nature du signal et ses interactions avec la structure anatomique explorée.
En microscopie, des flux de particules, photons ou électrons, permettent l'observation de structures de tailles différentes. Le microscope photonique donne, de l'objet observé, une image agrandie ; il permet d'observer cellules et tissus. Le microscope électronique permet d'observer des organites. Le pouvoir de résolution caractérise les limites des objets observables au microscope optique et au microscope électronique.	Observer des préparations microscopiques ou des micrographies pour : - réaliser les réglages d'un microscope nécessaires à l'observation ; - utiliser un micromètre pour déterminer les dimensions d'un objet ; - utiliser le grossissement ou une échelle pour estimer la taille d'un objet microscopique.
Les constituants des organismes vivants ont des tailles qui diffèrent de plusieurs ordres de grandeur de l'organe à l'atome.	Observer des images obtenues à l'aide de différentes techniques pour : - situer sur une échelle d'ordre de grandeur en puissances de dix les principaux constituants des organismes vivants ; - associer un instrument de mesure à chaque ordre de grandeur.

1.3 Les organismes vivants présentent différents niveaux d'organisation	
<p>Un appareil intègre plusieurs organes participant au fonctionnement de l'organisme.</p> <p>Les différentes structures de l'appareil respiratoire permettent les échanges gazeux nécessaires.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, une dissection pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les organes de l'appareil respiratoire ; - schématiser le trajet de l'air dans les voies de l'arbre bronchique, de la trachée à l'alvéole pulmonaire ; - expliquer les échanges gazeux au niveau de la barrière alvéolo-capillaire.
<p>Un organe est une structure d'un appareil, qui assure une fonction définie.</p> <p>La pompe cardiaque permet la circulation du sang entre les poumons et les autres organes.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, une dissection d'un cœur pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les organes de l'appareil cardio-vasculaire ; - représenter sur un schéma le trajet du sang dans la circulation pulmonaire et systémique ; - mettre en relation la structure de la pompe cardiaque avec sa fonction.
<p>Les tissus sont des organisations pluricellulaires ; différents critères permettent de les identifier.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires et observer des préparations histologiques pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - utiliser des critères d'identification des tissus ; - reconnaître les principaux tissus : épithélial, conjonctif, nerveux, musculaire.
1.4 La cellule fonde l'unité des organismes vivants	
<p>La cellule fonde l'unité du vivant. Elle présente deux types d'organisation : cellule procaryote et cellule eucaryote.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires et réaliser des observations microscopiques de cellules pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - observer et comparer la structure et l'ultra structure des cellules eucaryotes et procaryotes ; - dégager les caractéristiques communes et les particularités de chaque type d'organisation cellulaire ; - déterminer la taille réelle d'une cellule à partir d'une échelle ou d'un grossissement.
1.5 Les molécules des organismes vivants présentent des structures et des propriétés spécifiques	
<p>Les cellules sont composées majoritairement d'eau et de molécules organiques.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires ou une activité expérimentale pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer le pourcentage en eau et en matière organique de différents organismes vivants ; - mettre en évidence la variabilité de la teneur en eau des organismes vivants.
<p>L'eau constitue l'environnement des systèmes biologiques.</p> <p>La solubilité des espèces chimiques dans l'eau dépend de leur squelette, de leur(s) groupe(s) caractéristique(s) et de leur charge.</p> <p>L'eau est un solvant polaire, dissociant et formant des interactions hydrogène.</p>	<p>Mettre en œuvre des activités expérimentales et exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - justifier à l'aide d'une échelle d'électronégativité le caractère polaire d'une liaison et de la molécule d'eau ; - différencier les interactions intermoléculaires : interactions électrostatiques, interactions hydrogène ; - tester et interpréter la solubilité ou non d'une espèce chimique dans l'eau ; - définir les termes : hydrophile, hydrophobe, lipophile, lipophobe, amphiphile ; - prévoir qualitativement la solubilité ou non d'une espèce simple dans l'eau.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

<p>Le caractère amphiphile de certaines molécules est à l'origine de la structure en double couche des membranes biologiques.</p>	<p>Analyser la structure de quelques phosphoglycérides pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - repérer la chaîne carbonée hydrophobe et la partie hydrophile ; - interpréter les associations de phospholipides en micelles et en bicouches ; - schématiser un liposome.
<p>Les molécules biologiques comportent certains groupes caractéristiques présentant des propriétés acides ou basiques.</p> <p>En fonction du pH du milieu et du pK_A du couple, une espèce d'un couple acide/base prédomine.</p> <p>Des groupes caractéristiques chargés apparaissent ou disparaissent en fonction du pH.</p> <p>Les milieux biologiques sont des milieux tamponnés.</p>	<p>Mettre en œuvre des activités expérimentales et exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître l'acide ou la base dans un couple acide/base conjugué ; - écrire quelques couples acide/base usuels relatifs à l'acide éthanoïque, l'acide carbonique, l'acide phosphorique, l'ion ammonium et ceux relatifs à l'eau ; - écrire l'équation d'une réaction acide-base à partir des deux couples acide/base mis en jeu ; - utiliser la relation $pH = -\log [H_3O^+]$; - mesurer le pH d'une solution ou d'un milieu d'intérêt biologique à l'aide d'un pH mètre ; - effectuer une analyse spectrophotométrique pour illustrer expérimentalement la prédominance de la forme acide ou basique d'un indicateur coloré en fonction du pH ; - identifier l'espèce prédominante d'un couple acide/base en fonction du pH du milieu et du pK_A du couple ; - préparer un mélange tampon ; - mettre en évidence expérimentalement l'effet tampon et ses limites.
<p>Les organismes vivants sont essentiellement constitués d'atomes de C, H, O, N, P et S.</p> <p>Ces atomes sont reliés entre eux par des liaisons covalentes pour constituer des biomolécules : lipides, protéines, acides nucléiques et polysides.</p> <p>Les oses sont des polyalcools pourvus d'une fonction aldéhyde ou d'une fonction cétone.</p> <p>Les acides aminés comportent une fonction acide carboxylique et une fonction amine.</p> <p>Les acides gras comportent une longue chaîne carbonée et une fonction acide carboxylique.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer la composition élémentaire de la croûte terrestre et celles des organismes vivants ; - localiser dans la classification périodique les atomes susceptibles de former des molécules ; - identifier les groupes caractéristiques des fonctions suivantes : alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, amine, amide ; - représenter la structure générique d'un aldohexose, d'un acide aminé et d'un acide gras. <p>Utiliser les règles du duet et de l'octet pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer le nombre de liaisons covalentes que peut établir un atome avec les atomes voisins ; - interpréter la représentation de Lewis de quelques molécules et entités ioniques présentant différents types de doublets.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

<p>Certaines molécules carbonées présentent des configurations particulières dues à la présence d'atome(s) de carbone asymétrique(s).</p> <p>Les oses des systèmes biologiques sont majoritairement des molécules de la série « D ».</p> <p>Les acides aminés des systèmes biologiques sont majoritairement des molécules de la série « L ».</p> <p>Certaines molécules carbonées présentent des configurations particulières dues à la présence de double(s) liaison(s).</p>	<p>Exploiter des formules semi-développées ou des modèles moléculaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - représenter en perspective de Cram le méthane et le glycéraldéhyde ; - représenter les deux énantiomères du glycéraldéhyde ; - identifier les atomes de carbone asymétriques d'un ose et d'un acide aminé ; - écrire la molécule du D-glucose en représentation de Fischer ; - écrire les deux anomères du D-glucopyranose en représentation de Haworth ; - identifier les groupes caractéristiques et les atomes de carbone asymétriques dans une représentation de Haworth et de Fischer ; - représenter la double liaison C=C d'une molécule ; - identifier des stéréo-isomères <i>Z</i> et <i>E</i> liés à la présence d'une double liaison C=C.
<p>Une molécule adopte de manière préférentielle la conformation la plus stable, permise par la libre rotation autour des simples liaisons carbone-carbone.</p>	<p>Construire des modèles moléculaires et utiliser les outils numériques de modélisation moléculaire pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - représenter la conformation la plus stable de l'éthane, du butane et d'un acide gras à longue chaîne ; - représenter la conformation la plus stable appelée « conformation chaise », du βD-glucopyranose.
<p>La séquence d'acides aminés, à l'origine de la structure primaire, conditionne le repliement des protéines dans l'espace.</p> <p>Le repliement dans l'espace constitue la structure tridimensionnelle ou structure native de la protéine.</p> <p>Ce repliement est stabilisé par des interactions non covalentes (électrostatiques, hydrogène) et des ponts disulfure qui conditionnent les structures secondaires, tertiaire et quaternaire.</p> <p>La structure quaternaire provient d'interactions entre chaînes polypeptidiques.</p> <p>Les structures tridimensionnelles des protéines permettent la reconnaissance spécifique protéine-ligand : enzyme-substrat, antigène-anticorps, récepteur-hormone.</p>	<p>Placer sur une échelle d'énergies de « liaisons » les énergies des interactions faibles et les énergies des liaisons covalentes.</p> <p>Utiliser des banques de données numériques et/ou des logiciels de modélisation moléculaire de protéines et expérimenter pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - retrouver la séquence d'acides aminés à partir de la formule semi-développée d'un oligopeptide ; - mettre en relation les propriétés géométriques de la liaison peptidique et ses contraintes aux structures primaire et secondaire ; - relier, sur un exemple, les propriétés des chaînes latérales des acides aminés à la structure tridimensionnelle ; - mettre en évidence le rôle des conditions physico-chimiques dans le maintien du repliement des protéines (pH, température, force ionique) ; - rendre compte à partir d'un exemple de la relation existant entre séquence, conformation et activité des protéines ; - mettre en évidence la spécificité et l'affinité dans l'interaction protéine-ligand.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Thème 2 - Les systèmes vivants échangent de la matière et de l'énergie

Le maintien de l'identité biologique des systèmes vivants nécessite qu'ils entretiennent avec le milieu les échanges indispensables à la couverture de leurs besoins en nutriments et énergie. Ces échanges sont assurés de façon différente suivant le degré de complexité de ces systèmes.	
Connaissances	Capacités
2.1 L'alimentation humaine doit être diversifiée pour apporter les différents nutriments	
<p>L'alimentation apporte les nutriments nécessaires à un bon fonctionnement de l'organisme.</p> <p>Une ration alimentaire équilibrée couvre l'ensemble des besoins de l'organisme.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier et caractériser les différents groupes d'aliments et de molécules (protides, lipides, glucides) ; - identifier et caractériser les groupes de nutriments ; - évaluer les besoins énergétiques et l'indice de masse corporelle ; - mettre en relation les besoins de l'individu avec sa ration alimentaire (sur les plans qualitatif et quantitatif) ; - mettre en relation déséquilibre de la ration et troubles alimentaires : anorexie, obésité, carences.
2.2 Chez l'Homme, les aliments sont d'abord digérés, puis les nutriments sont absorbés et distribués par le milieu intérieur	
<p>Les aliments sont des produits complexes.</p> <p>Les organes de l'appareil digestif permettent la transformation des aliments en nutriments par une succession de réactions de dégradation.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, une dissection, mettre en œuvre une démarche scientifique pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les organes de l'appareil digestif ; - caractériser les phénomènes mécaniques, chimiques, enzymatiques et microbiologiques qui participent à la digestion des aliments ; - schématiser le devenir des glucides, des lipides, des protides dans le tube digestif.
<p>Les réactions intervenant lors de la digestion des macromolécules sont des réactions d'hydrolyse.</p> <p>La vitesse des réactions chimiques et biochimiques dépend de différents paramètres ; elle traduit la vitesse de disparition d'un réactif ou d'apparition d'un produit.</p> <p>Elle est liée, au niveau moléculaire, à la fréquence des chocs efficaces entre les entités chimiques.</p> <p>Les triglycérides, esters d'acides gras et de glycérol peuvent être hydrolysés par voie chimique ou par voie enzymatique.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, ou une activité expérimentale pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer des vitesses de réactions dans différentes conditions de température et de concentrations ; - mettre en évidence la notion de catalyse chimique ; - mettre qualitativement en évidence la notion de catalyse enzymatique ; - identifier les groupes caractéristiques des espèces chimiques impliquées dans la réaction d'hydrolyse d'un triglycéride.
<p>Les produits de la digestion sont absorbés au niveau de la muqueuse intestinale et distribués par le milieu intérieur circulant.</p> <p>L'absorption des oses nécessite des structures membranaires spécifiques qui permettent un transport actif du glucose.</p> <p>Le transport des lipides nécessite l'association à des protéines dans les lipoprotéines.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation la structure de l'épithélium intestinal avec sa fonction d'absorption ; - expliquer les modalités de l'absorption du glucose ; - mettre en relation la polarité des molécules avec les modalités de leur distribution dans le milieu intérieur.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

2.3 Les cellules puisent les nutriments dans leur environnement pour former et renouveler leurs constituants	
<p>La membrane cellulaire est le siège d'échanges avec le milieu extracellulaire.</p> <p>Les nutriments peuvent franchir la membrane plasmique par diffusion simple ou à l'aide d'un transporteur.</p>	<p>Mettre en œuvre des activités expérimentales et exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier le phénomène d'osmose. <p>Exploiter des ressources documentaires, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation le phénomène d'osmose avec les propriétés des membranes hémiperméables ; - caractériser les différents types d'échanges transmembranaires.
2.4 Le maintien en équilibre dynamique des paramètres physiologiques assure la stabilité du milieu intérieur	
<p>Les liquides de l'organisme sont compartimentés et échangent de la matière.</p> <p>Le sang et la lymphe diffèrent par leur composition et leurs fonctions.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les différents compartiments liquidiens ; - établir les relations anatomiques et fonctionnelles entre circulation sanguine et circulation lymphatique. <p>Observer au microscope des frottis fixés pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître les différentes cellules sanguines ; - nommer les principaux types de cellules sanguines.
<p>Le rein, par la formation de l'urine, participe à l'élimination de déchets de l'organisme.</p>	<p>À partir d'une dissection d'un rein, de l'observation de coupes histologiques, exploiter des informations pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation l'organisation anatomique du rein avec ses fonctions de filtration, réabsorption, sécrétion et excrétion.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Thème 3 - Les systèmes vivants maintiennent leur intégrité et leur identité en échangeant de l'information

Le maintien de l'intégrité et de l'identité d'un organisme demande une modulation et un contrôle de son fonctionnement. Cette régulation mobilise divers moyens de communication assurant les transferts d'informations nécessaires.	
Connaissances	Capacités
3.1 Un système vivant est un système de communication intégré	
<p>Un système de communication est fondé sur la production d'un message codé par un émetteur, transporté jusqu'à un récepteur.</p> <p>Les cellules peuvent communiquer par voie nerveuse et hormonale.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence l'existence des voies de communication nerveuse et hormonale ; - définir les caractéristiques communes à ces deux voies.
3.2 Les systèmes vivants utilisent deux grandes voies de communication	
<p>La communication nerveuse est caractérisée par la propagation d'un signal au niveau des neurones.</p> <p>Ce signal se propage sous forme de potentiels d'action.</p> <p>La fréquence d'émission des potentiels d'action constitue le codage du message.</p> <p>La transmission du message d'une cellule à l'autre nécessite une structure particulière appelée synapse.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires et mettre en œuvre des activités expérimentales pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les centres nerveux et les voies afférentes et efférentes ; - mettre en relation les caractéristiques cytologiques des neurones avec leurs fonctions ; - mettre en relation la fréquence d'émission des potentiels d'action avec la variation d'un paramètre au niveau des récepteurs spécifiques ; - caractériser le fonctionnement d'une synapse biochimique ; - expliquer les mécanismes de propagation et de transmission des potentiels d'action.
<p>La communication hormonale est caractérisée par la libération d'une molécule en réponse à un stimulus.</p> <p>Une hormone est une molécule libérée en petite quantité qui agit spécifiquement sur des cellules-cible.</p> <p>Le mode d'action des messagers hormonaux dépend de leur nature biochimique : peptide, stéroïde, dérivé d'acide aminé.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - définir une hormone, une glande endocrine et un organe cible ; - mettre en relation la variation d'un paramètre physiologique avec la sécrétion d'un messenger hormonal ; - mettre en relation la réception d'un messenger hormonal avec la modification d'une activité cellulaire.

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

<p>Les communications hormonale et nerveuse s'organisent en boucles de régulation.</p> <p>La régulation de la glycémie nécessite un échange d'informations entre organes et cellules par voie hormonale.</p> <p>L'hyperglycémie et l'hypoglycémie sont des écarts de la concentration en glucose dans le sang avec la valeur de consigne.</p> <p>Les cellules pancréatiques détectent l'écart entre la valeur de la glycémie effective et la valeur de consigne et sécrètent l'insuline ou le glucagon.</p> <p>Les organes-cible, le foie, les tissus adipeux et musculaires déclenchent des actions correctives en vue de ramener la glycémie à la valeur de consigne.</p> <p>Les diabètes sucrés sont des pathologies caractéristiques d'un dysfonctionnement de la boucle de l'insuline.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer la glycémie effective d'un résultat d'analyse médicale à une valeur de référence ; - schématiser une boucle de régulation de la glycémie ; - mettre en relation la correction de l'écart avec les effets des messages hormonaux sur les structures cibles ; - distinguer les diabètes de type 1 et 2.
--	--

Thème 4 - Les systèmes vivants contiennent, échangent et utilisent de l'information génétique

La variété phénotypique des systèmes vivants est déterminée à différentes échelles par la diversité des informations portées et transmises par l'ADN.	
Connaissances	Capacités
4.1 Les propriétés informatives de l'ADN sont liées à sa structure	
<p>Un nucléotide de l'ADN est constitué d'une base azotée, d'un désoxyribose, et d'un groupement phosphate.</p> <p>Structure primaire de l'ADN, la séquence orientée des nucléotides constitue le support de l'information.</p> <p>Les interactions hydrogène entre les bases azotées permettent l'association de deux brins complémentaires en double hélice.</p>	<p>Exploiter des résultats des expériences historiques de Griffith, Avery, Hershey et Chase pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déduire l'importance de l'ADN dans l'acquisition de phénotypes nouveaux : notion de principe transformant. <p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les constituants de l'ADN ; - établir la séquence complémentaire d'une séquence désoxyribonucléotidique donnée.

Annexe

Programme d'enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant Classe terminale de la série technologique STL

Préambule

L'enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant de la classe terminale de la série STL prolonge celui de la classe de première. Commun aux deux spécialités de la série STL - biotechnologies et sciences physiques et chimiques en laboratoire -, ce programme est en cohérence avec l'enseignement de physique-chimie du tronc commun des séries STI2D et STL et avec les enseignements spécifiques à chacune des spécialités : biotechnologies et sciences physiques et chimiques en laboratoire.

Les objectifs généraux de cet enseignement

L'objectif du programme de la classe terminale ambitionne toujours, comme en classe de première, de permettre aux élèves des filières technologiques, futurs techniciens, futurs ingénieurs ou futurs chercheurs d'acquérir une **culture générale dans ces trois champs disciplinaires** qui se mêlent et s'enrichissent des apports de chacun. L'interface entre ces trois champs scientifiques est, depuis plus de deux siècles, le siège d'importantes découvertes et avancées scientifiques et elle mérite d'être explorée par une approche concrète et pluridisciplinaire. Cette exploration conduit à une culture fondée sur des connaissances actuelles, considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits, et sur des modes de raisonnement propres aux sciences.

Cet **enseignement intégré** vise donc à poursuivre la construction d'une culture commune portant sur **les systèmes vivants aux différentes échelles** et à introduire les concepts relatifs à chaque discipline au moment opportun. Il ne s'agit pas d'une juxtaposition de disciplines sans lien entre elles, mais bien, dans cet enseignement innovant, de faire ressortir les connexions entre trois champs disciplinaires par le passage continu d'une discipline à l'autre à travers les thématiques, les disciplines n'étant pas identifiées en tant que telles. Le programme propose notamment l'utilisation d'un vocabulaire harmonisé pour favoriser la compréhension de l'élève et pour l'aider à faire le lien entre les disciplines scientifiques au lycée, mais aussi au-delà, dans l'enseignement supérieur.

Cet enseignement privilégie toujours **l'acquisition de compétences**, de méthodes, de raisonnements, d'autonomie et d'initiative à travers la réalisation d'**activités concrètes, pratiques et contextualisées** suscitant la motivation de l'élève et l'amenant à participer à la construction de son savoir.

Enfin, cette année de terminale doit contribuer à préparer tous les élèves à des **poursuites d'études supérieures scientifiques** et, au-delà, aux métiers auxquels elles conduisent. Leur réussite y sera favorisée si chacun d'eux parvient à mobiliser de manière autonome ses acquis théoriques, méthodologiques et techniques, à élaborer sa propre démarche de résolution et à réaliser des bilans simples et synthétiques, éventuellement sous forme de schémas, à propos des thématiques abordées ou des documents analysés.

L'acquisition de compétences par les élèves

L'acquisition des **connaissances fondamentales** reste un objectif important de cet enseignement, cependant celles-ci ne participent à la formation intellectuelle et citoyenne des élèves que dans la mesure où elles sont assorties de **capacités** à les mobiliser pour résoudre un problème et d'**attitudes** essentielles à développer lors de la pratique d'activités scientifiques en autonomie, seul ou en groupe. Les connaissances, capacités et attitudes présentes dans le programme précisent les limites des attendus exigibles en fin de cycle terminal et sont à prendre en compte dans la conception des scénarios pédagogiques visant leur acquisition et lors des phases d'évaluations visant leur contrôle. Rappelons que l'on désigne par **compétence** une combinaison de connaissances, capacités et attitudes mises en œuvre pour résoudre une tâche donnée.

À propos des modalités d'enseignement

Les **activités expérimentales** répondant à une problématique et conduisant à des démarches de modélisation, les **démarches historiques** montrant l'évolution des idées et la construction progressive des connaissances, les **études de terrain** abordant des situations complexes réelles, l'**analyse de documents** de nature variée, sont autant d'approches pertinentes pour mettre en œuvre cet enseignement. Leur intérêt a été souligné dans le préambule de la classe de première dont le contenu reste valable pour l'année de terminale.

Pour autant, le programme est toujours conçu pour laisser une grande place à la **liberté pédagogique du professeur**, notamment dans le choix de l'ordre de présentation du programme, des modalités didactiques retenues, et des supports utilisés, expériences ou ressources documentaires, pour illustrer chacun des items. Il n'en reste pas moins vrai que le professeur doit :

- s'attacher à atteindre l'ensemble des objectifs de formation fixés par le programme ;
- s'assurer de la validité scientifique des ressources pédagogiques, que ce soient des articles publiés dans des revues, des ressources numériques ou des vidéos ;
- proposer aux élèves des méthodes et outils diversifiés afin qu'ils puissent manipuler, expérimenter avec ou sans l'ordinateur, aller sur le terrain, modéliser, rechercher une information à partir de documents de nature différente.

Le programme de la classe terminale

La forme du programme de la classe terminale est analogue à celle du programme de la classe de première. Chaque thème comporte une brève introduction qui en indique l'esprit général et se trouve présenté en **deux colonnes** intitulées :

- **Connaissances** : dans la colonne de gauche, figurent les savoirs à acquérir sous forme de résumés. Les termes en gras sont des **mots-clés** destinés à faciliter la lecture et le repérage. Le niveau visé est précisé par les capacités à mettre en œuvre ces connaissances dans une situation donnée, qui sont regroupées dans la colonne de droite.

- **Capacités** : dans la colonne de droite sont précisés les savoir-faire à acquérir, capacités explicitées sous forme de verbes d'action. Les termes et expressions libellés en caractères gras et en italique font référence à des activités pratiques en laboratoire réalisées par les élèves. Les ressources documentaires restent au choix de l'enseignant qui doit s'assurer de leur validité scientifique ; ce sont des supports papier, des ressources numériques, des vidéos, l'essentiel étant que les élèves soient habitués à exploiter des documents de nature différente.

Pour ce qui concerne les **attitudes** ou savoir-être, il s'agit d'**attitudes générales** mobilisées dans la plupart des activités, aussi sont-elles données dans le préambule. Elles s'inscrivent toutes dans le prolongement du socle commun :

- montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques et percevoir le lien entre sciences et techniques ;
- manifester sens de l'observation, curiosité, imagination, esprit critique ;
- être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires ;
- avoir le goût du raisonnement fondé sur des arguments dont la validité est à prouver ;
- comprendre la nature provisoire du savoir scientifique ;
- être conscient de sa responsabilité face à l'environnement, la santé, le monde vivant ;
- être conscient de l'existence d'implications éthiques de la science ;
- avoir une bonne maîtrise de son corps ;
- respecter les règles de sécurité ;
- travailler en groupe, prendre en compte l'avis des autres.

De même, des **capacités générales** liées à la pratique de la démarche scientifique, elles-mêmes dans le prolongement du socle commun, sont communes à l'ensemble des items :

- pratiquer une démarche scientifique (observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser) ;
- rechercher, extraire et organiser l'information utile ;
- manipuler, mesurer, exploiter des résultats, appliquer des consignes ;
- comprendre qu'un fait peut avoir plusieurs causes ;
- présenter la démarche suivie, exprimer les résultats obtenus, communiquer à l'aide d'un langage adapté, à l'écrit comme à l'oral.

Cinq thèmes d'étude portant sur les systèmes vivants

Le programme de la classe terminale complète les quatre thèmes déjà abordés en classe de première et les prolonge par un cinquième thème portant sur **les systèmes vivants de grande échelle** qui permet d'avoir une vision plus globale sur les enjeux du monde contemporain et d'amener l'élève à développer une réflexion citoyenne. En effet, l'impérieuse nécessité de proposer actuellement des solutions s'inscrivant dans le cadre d'un développement durable conduit à comparer différentes solutions pour effectuer des choix, en fonction de contraintes sociales, économiques et environnementales. L'enseignement de chimie-biochimie-sciences du vivant, à la croisée des disciplines, devrait permettre à l'élève de disposer de la formation scientifique requise pour s'engager dans cette approche systémique des problèmes et pour parvenir, à l'issue d'analyses multifactorielles, à apporter des arguments scientifiques sur les choix, tout en identifiant les problèmes éthiques. Ce dernier thème est un lieu privilégié de réinvestissement des compétences acquises dans les autres thèmes et pourrait avantageusement s'appuyer sur des projets d'élèves. Dans chaque thème, les titres des chapitres abordés en première sont indiqués ci-dessous en italique, alors que ceux introduits en terminale le sont en caractère droit.

Thème 1 : Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière

Il s'agit de montrer que les systèmes vivants présentent une grande diversité d'organisation et de fonctionnement, néanmoins leur étude à différentes échelles (organes, tissus, cellule, macromolécule, molécule) révèle des indices de leur unité. Des relations structures/propriétés sont établies au niveau moléculaire.

Les virus sont des systèmes biologiques infectieux, constitués au minimum d'un acide nucléique et de protéines ; ils ne peuvent être décrits indépendamment de la cellule hôte dont ils utilisent les constituants pour se multiplier.

1.1 *Les organismes vivants présentent une unité et une diversité*

1.2 *Les organismes vivants peuvent être explorés par des techniques adaptées à chaque échelle*

1.3 *Les organismes vivants présentent différents niveaux d'organisation*

1.4 *La cellule fonde l'unité du vivant*

1.5 *Les molécules des organismes vivants présentent des structures et des propriétés spécifiques*

1.6 Les virus sont des systèmes biologiques non cellulaires

**Thème 2 : Les systèmes vivants échangent de la matière et de l'énergie**

Le maintien de l'intégrité biologique des systèmes vivants nécessite qu'ils entretiennent avec le milieu les échanges indispensables à la couverture de leurs besoins en nutriments et en énergie. La thermodynamique permet de rendre compte des aspects énergétiques des transformations chimiques intervenant lors du métabolisme (hydrolyse, oxydoréduction, synthèse de biomolécules) et du rôle qui y est joué par l'ATP. La spécificité des réactions mises en œuvre dans le métabolisme est assurée grâce aux enzymes, les catalyseurs biologiques.

2.1 *L'alimentation humaine doit être diversifiée pour apporter les différents nutriments*

2.2 *Chez l'homme, les aliments sont d'abord digérés, puis les nutriments sont absorbés et distribués par le milieu intérieur*

2.3 *Les cellules puisent les nutriments dans leur environnement pour former et renouveler leurs constituants*

2.4 *Le maintien de l'équilibre dynamique des paramètres physiologiques assure la stabilité du milieu intérieur*

2.5. Les systèmes vivants assurent leur activité et maintiennent leur intégrité en utilisant des voies métaboliques variées

2.6. Les voies métaboliques des systèmes vivants sont exploitées dans les bio-industries

Thème 3 : Les systèmes vivants maintiennent leur intégrité et leur identité en échangeant de l'information

Le maintien de l'intégrité et de l'identité d'un organisme demande une modulation et un contrôle de son fonctionnement. Cette régulation mobilise divers moyens de communication assurant les transferts d'informations nécessaires.

3.1 *Un système vivant est un système de communication intégrée*

3.2 *Les systèmes vivants utilisent deux grandes voies de communication (nerveuse, hormonale, régulation)*

3.3 Le maintien de l'intégrité de l'organisme par les mécanismes immuns nécessite la reconnaissance du soi et une coopération entre les cellules immunocompétentes

Thème 4 : Les systèmes vivants contiennent, échangent et utilisent de l'information génétique

La variété phénotypique des systèmes vivants est déterminée à différentes échelles par la diversité des informations portées par l'ADN, par leurs transmissions lors des phases de réplication ou lors de la reproduction sexuée. Cette dernière permet le brassage génétique qui confère à chaque individu une identité propre.

4.1 *Les propriétés informatives de l'ADN*

4.2 Le phénotype d'un individu est lié à l'expression de son génotype

4.3 La séquence codante d'un gène permet l'expression d'un caractère via la synthèse d'une protéine

4.4 L'information génétique est conservée par réplication de l'ADN

4.5 La reproduction sexuée permet la rencontre de deux informations génétiques

4.6 L'ADN est un objet des biotechnologies

Thème 5 : Les systèmes vivants de grande échelle : écosystèmes et biosphère

Systèmes vivants de grande échelle, la biosphère et ses écosystèmes participent aux échanges de matière et d'énergie entre différentes enveloppes terrestres ; la biosphère contribue ainsi au recyclage de la matière et des éléments qui la constituent.

Les organismes vivants, quant à eux, peuvent être utilisés comme agents de dépollution ou d'élaboration d'espèces chimiques ; des procédés sont actuellement exploités à l'échelle industrielle et d'autres sont encore étudiés à l'état de prototype. Tous s'attachent à résoudre des problèmes sociétaux et environnementaux.

5.1 Les organismes vivants sont divers mais apparentés

5.2 Le sol et l'agrosystème sont deux écosystèmes de surface

5.3 La biosphère est une interface entre différentes enveloppes terrestres

5.4 Les organismes vivants sont utilisés par l'Homme comme agents de dépollution et de production

Thème 1 - Les systèmes vivants présentent une organisation particulière de la matière

Niveau d'organisation particulier de la matière, les virus sont des systèmes biologiques infectieux, constitués au minimum d'un acide nucléique et de protéines ; ils ne peuvent être décrits indépendamment de la cellule hôte dont ils utilisent les constituants pour se multiplier.

1.6 Les virus sont des systèmes biologiques non cellulaires

Connaissances	Capacités
Les virus diffèrent entre eux par leur structure et la nature de leur acide nucléique.	Exploiter des ressources documentaires pour : - identifier les principales caractéristiques structurales des virus ; - mettre en relation les éléments de structure avec leurs propriétés biologiques.
Les virus sont des parasites obligatoires des cellules ; ils se multiplient en utilisant la machinerie cellulaire. Les génomes de certains virus s'intègrent durablement à la cellule hôte. La libération des virus provoque généralement la mort de la cellule .	Exploiter des ressources documentaires pour : - identifier les principales étapes d'un cycle viral ; - mettre en relation les principales étapes de la multiplication virale avec la notion de parasitisme obligatoire.

Thème 2 - Les systèmes vivants échangent de la matière et de l'énergie

Le maintien de l'intégrité biologique des systèmes vivants nécessite qu'ils entretiennent avec le milieu les échanges indispensables à la couverture de leurs besoins en nutriments et en énergie. La thermodynamique permet de rendre compte des aspects énergétiques des transformations chimiques intervenant lors du métabolisme (hydrolyse, oxydoréduction, synthèse de biomolécules) et du rôle qui y est joué par l'ATP. La spécificité des réactions mises en œuvre dans le métabolisme est assurée grâce aux enzymes, les catalyseurs biologiques.

2.5 Les systèmes vivants assurent leur activité et maintiennent leur intégrité en utilisant des voies métaboliques variées

Connaissances	Capacités
Une voie métabolique est une suite de transformations chimiques catalysées par des enzymes. Lors d'une transformation chimique en solution, un système fermé évolue vers un état d'équilibre chimique. Cet état d'équilibre dépend de l'état initial et de la constante d'équilibre $K(T)$, caractéristique de la réaction. Une réaction est favorisée quand la valeur de la constante d'équilibre $K(T)$ est élevée, c'est-à-dire quand l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^0(T)$ est négative. Le déplacement de l'état d'équilibre d'un système peut être provoqué en faisant varier les conditions opératoires : température, excès d'un réactif ou élimination d'un produit.	Mettre en œuvre des activités expérimentales et exploiter des ressources documentaires pour : - reconnaître le type de système étudié : isolé, fermé, ouvert, stationnaire ; - déterminer l'état final d'un système , dans le cas d'une réaction acide-base ou d'une réaction d'estérification-hydrolyse ; - exprimer le quotient réactionnel Q_r et le comparer à la constante d'équilibre $K(T)$, par exemple K_A pour la réaction de dissociation d'un acide dans l'eau ; - mettre en relation l'état final avec le caractère total ou limité d'une transformation ; - identifier les facteurs d'influence d'un état d'équilibre ; - proposer un protocole pour déplacer un état d'équilibre.

<p>Un organisme vivant est un système ouvert qui échange de la matière et de l'énergie avec l'extérieur.</p> <p>Les transformations chimiques dans l'organisme humain se déroulent à une température et un pH maintenus constants.</p> <p>Une transformation chimique est favorisée à pH = 7,0 et à 37°C quand l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^{0'}$ est négative.</p> <p>Dans la cellule, la réaction d'hydrolyse de l'ATP en ADP est caractérisée par une enthalpie libre de réaction $\Delta_r G^{0'} = -30 \text{ kJ.mol}^{-1}$</p> <p>Certaines transformations chimiques sont favorisées par le couplage de réactions exergoniques ($\Delta_r G^{0'} < 0$) avec des réactions endergoniques ($\Delta_r G^{0'} > 0$).</p>	<p>Analyser des exemples de réactions biochimiques pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer l'enthalpie libre d'une transformation obtenue par couplage à partir des enthalpies libres de réaction $\Delta_r G^{0'}$ mises en jeu ; - positionner le $\Delta_r G^{0'}$ de l'hydrolyse de l'ATP en ADP sur une échelle des $\Delta_r G^{0'}$ des réactions intracellulaires ; - représenter sur la structure de l'ATP la liaison mise en jeu dans l'hydrolyse exergonique de l'ATP en ADP ; - expliquer le rôle de l'ATP et de l'ADP comme intermédiaires énergétiques.
<p>Certaines réactions chimiques intervenant au cours du métabolisme sont des réactions d'oxydoréduction.</p> <p>Un couple oxydant-réducteur est caractérisé par un potentiel standard E° à 25°C et par un potentiel standard apparent $E^{0'}$ à pH = 7,0 et 37°C.</p> <p>Les réactions d'oxydoréduction sont d'autant plus exergoniques que la valeur $\Delta E^{0'}$ de la différence de potentiel standard des deux couples réagissant est grande.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple redox ; - écrire une demi-équation d'oxydoréduction, en particulier les demi-équations des couples NAD^+/NADH, FAD/FADH_2 ; - positionner sur une échelle de potentiels redox standards des couples intervenant dans le métabolisme énergétique : $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$, cytochromes ox/red, coenzymes ox/red ; - positionner sur une échelle relative de niveau d'oxydation le dioxyde de carbone et des groupes caractéristiques qui interviennent dans les voies métaboliques (alcools, aldéhydes, cétones, acides).
<p>Dans la cellule, les réactions d'oxydation des substrats conduisent à la synthèse d'ATP.</p> <p>La réaction endergonique de phosphorylation de l'ADP en ATP nécessite un couplage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit avec une transformation chimique comportant une oxydoréduction (couplage chimio-chimique) ; - soit avec un transport de protons dans le sens du gradient de concentration transmembranaire (couplage osmo-chimique). 	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier la nature du couplage énergétique mis en jeu lors d'une synthèse d'ATP ; - schématiser une synthèse d'ATP par couplage osmo-chimique.
<p>Le métabolisme cellulaire est constitué par l'ensemble des voies métaboliques d'une cellule.</p> <p>L'ensemble des voies conduisant à la dégradation de substrats et à la production d'ATP est appelé catabolisme.</p> <p>L'ensemble des voies conduisant à la synthèse de molécules constitutives de l'organisme est appelé anabolisme.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour</p> <ul style="list-style-type: none"> - localiser au sein de la cellule quelques voies cataboliques : glycolyse, cycle de Krebs, chaîne respiratoire ; - repérer et annoter les étapes d'oxydoréduction et de synthèse d'ATP des voies cataboliques : la glycolyse, le cycle de Krebs, la chaîne respiratoire aérobie, la fermentation lactique ou alcoolique ; - établir les bilans d'énergie et de matière de l'utilisation du glucose par respiration et par fermentation ; - calculer un rendement énergétique en ATP ; - identifier une voie anabolique par la consommation d'ATP associée à l'utilisation de coenzymes réduits.
<p>La source d'énergie permet de distinguer les phototrophes et les chimiotrophes.</p> <p>La nature du donneur d'électrons permet de distinguer les organotrophes et les lithotrophes.</p> <p>Les animaux et de nombreuses bactéries sont des organismes chimio-organotrophes.</p>	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental (EXAO), exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier le type trophique énergétique d'un organisme par l'étude des conditions permettant sa croissance ; - repérer, sur un schéma simple de la phase claire de la photosynthèse, les rôles du donneur d'électrons H_2O et de la lumière ainsi que la production d'ATP et de coenzyme réduit.

Les végétaux chlorophylliens, les cyanobactéries sont des organismes photo-lithotrophes.

La photosynthèse oxygénique permet à des organismes (végétaux, algues, cyanobactéries) :

- de synthétiser de l'ATP en présence de lumière par couplage osmo-chimique ;
- d'obtenir des coenzymes réduits utilisables pour l'anabolisme.

2.6 Les voies métaboliques des systèmes vivants sont exploitées dans les bio-industries

Connaissances	Capacités
Les transformations biologiques mises en œuvre dans les systèmes vivants sont exploitées dans les bio-industries pour la fabrication de nombreux produits.	Exploiter des ressources documentaires pour : <ul style="list-style-type: none"> - identifier les produits issus d'une fermentation éthanolique ou lactique ; - établir l'équation chimique globale de la transformation du glucose ; - expliquer l'intérêt industriel des fermentations par la notion de taux de conversion.

Thème 3 - Les systèmes vivants maintiennent leur intégrité et leur identité en échangeant de l'information

Le maintien de l'intégrité et de l'identité d'un organisme demande une modulation et un contrôle de son fonctionnement. Cette régulation mobilise divers moyens de communication assurant les transferts d'informations nécessaires.

3.2 Les systèmes vivants utilisent deux grandes voies de communication (suite)

Connaissances	Capacités
<p>La régulation de l'axe gonadotrope masculin et féminin intègre des communications nerveuses et hormonales.</p> <p>L'hypothalamus et l'hypophyse sont deux organes étroitement associés et situés à la base du cerveau.</p> <p>La régulation de l'axe gonadotrope masculin fait intervenir plusieurs niveaux de contrôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - contrôle de l'hypophyse par l'hypothalamus ; - contrôle du testicule par l'hypophyse ; - rétrocontrôle négatif du testicule sur le complexe hypothalamo-hypophysaire. <p>La régulation de l'axe gonadotrope féminin fait intervenir plusieurs niveaux de contrôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - contrôle de l'hypophyse par l'hypothalamus ; - contrôle de l'ovaire par l'hypophyse ; - contrôle de l'utérus par l'ovaire ; - rétrocontrôle négatif ou positif de l'ovaire sur le complexe hypothalamo-hypophysaire. 	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - établir : <ul style="list-style-type: none"> . l'action de la GnRH sur la production hypophysaire de LH et FSH, . les actions respectives de LH et FSH sur la production des hormones sexuelles et sur la gamétogenèse, . le rétrocontrôle exercé par les hormones sexuelles sur le complexe hypothalamo-hypophysaire ; - mettre en relation l'ensemble des communications neuro-hormonales régulant l'axe gonadotrope avec la synchronisation des cycles sexuels.
<p>La procréation peut être maîtrisée par différentes méthodes contraceptives et contragestives.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour identifier les modes d'actions mécaniques ou hormonaux des principales méthodes contraceptives et contragestives.</p> <p>Prendre conscience du droit à la maîtrise de la procréation et de sa dimension éthique.</p>

3.3 Le maintien de l'intégrité de l'organisme par les mécanismes immuns nécessite la reconnaissance du soi et une coopération entre cellules immunocompétentes

Connaissances	Capacités
L'organisme possède des barrières naturelles qui limitent l'entrée d'agents étrangers. Certains microorganismes pathogènes peuvent provoquer des infections ; d'autres sont commensaux .	Exploiter des ressources documentaires pour : - caractériser les différentes barrières naturelles ; - identifier des facteurs de pathogénicité.
La capacité des organismes à différencier le soi du non-soi est à la base des réactions immunitaires de défense. Un antigène est une molécule identifiée comme du non-soi. Des marqueurs moléculaires membranaires spécifiques de chaque individu déterminent le soi.	Exploiter des ressources documentaires pour : - montrer que l'organisme différencie le soi du non-soi (rejets de greffes) ; - relier le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) à cette différenciation.
Lors d'une infection, la réponse immunitaire débute par une réaction inflammatoire qui recrute les phagocytes par chimiotactisme. La réaction de défense se termine le plus souvent par la phagocytose de l'agent infectieux.	Observer des préparations microscopiques (frottis) et utiliser des documents pour identifier les différentes populations leucocytaires (granulocytes, monocytes et lymphocytes). Exploiter des ressources documentaires pour : - associer les signes cliniques, dits locaux, à la réaction inflammatoire au niveau d'une plaie (rougeur, chaleur, douleur, œdème) ; - distinguer les principales étapes de la phagocytose.
La réponse immunitaire peut se poursuivre par une réaction acquise ou adaptative, spécifique de l'antigène présenté par une cellule appelée « cellule présentatrice de l'antigène », souvent un phagocyte. La réaction adaptative nécessite une action coopérative de plusieurs types de lymphocytes grâce à des contacts cellulaires et à des messagers , les interleukines. La réaction adaptative conduit à la différenciation de lymphocytes produisant des anticorps ou ayant une action cytotoxique .	Exploiter des ressources documentaires pour : - mettre en relation la réaction immunitaire adaptative avec les organes lymphoïdes secondaires où elle se déroule ; - relier les populations de lymphocytes à leur mode d'intervention : auxiliaire, médiation cellulaire, médiation humorale.
La synthèse d'anticorps spécifiques d'un antigène peut être déclenchée in vivo à des fins d' immunisation . Le principe de la vaccination repose sur : - la rapidité et l'amplitude de la production d'anticorps lors d'une réponse secondaire ; - l'utilisation d'un antigène dérivé d'un agent pathogène .	Exploiter une courbe de réponse immunitaire en fonction du temps, pour : - mettre en évidence les réponses primaires et secondaires à un antigène ; - mettre en évidence le rôle des lymphocytes mémoire. Exploiter des ressources documentaires pour prendre conscience des enjeux individuels, sociétaux et économiques de la vaccination.
Les anticorps peuvent être utilisés : - in vivo pour des applications thérapeutiques ; - in vitro pour des applications diagnostiques .	Exploiter des ressources documentaires pour : - caractériser la sérothérapie ; - identifier la molécule recherchée dans une méthode diagnostique : anticorps ou antigène.

Thème 4 - Les systèmes vivants contiennent, échangent et utilisent de l'information génétique

La variété phénotypique des systèmes vivants est déterminée à différentes échelles par la diversité des informations portées par l'ADN, par leurs transmissions lors des phases de réplication ou lors de la reproduction sexuée. Cette dernière permet le brassage génétique qui confère à chaque individu une identité propre.

4.2 Le phénotype d'un individu est lié à l'expression de son génotype

Connaissances	Capacités
<p>La transmission des caractères héréditaires lors de la reproduction sexuée chez les eucaryotes obéit à des lois statistiques.</p> <p>Le phénotype est constitué par les caractères visibles d'un individu.</p> <p>Le génotype est l'ensemble des allèles d'un individu.</p> <p>Chez les eucaryotes, un même gène présente différentes versions alléliques dues à des mutations.</p> <p>Dans un organisme diploïde, deux allèles d'un même gène coexistent pour un caractère.</p> <p>Entre deux allèles différents d'un même gène, il existe une relation de dominance : un allèle dominant et un allèle récessif ou deux allèles codominants.</p> <p>L'allèle dominant conditionne le phénotype pour un caractère héréditaire.</p> <p>Ce polyallélisme est à l'origine de la variété des phénotypes des individus d'une même espèce.</p> <p>Pour un caractère donné, la transmission héréditaire peut être interprétée à partir des génotypes parentaux.</p> <p>Le phénotype d'un individu résulte de l'expression de son génotype, mais aussi de l'influence de paramètres environnementaux.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence le polyallélisme d'un gène ; - relier le phénotype obtenu lors d'un croisement à la dominance ou la récessivité des allèles ; - construire un tableau de croisement pour un caractère héréditaire ; - analyser un arbre généalogique pour la transmission d'un caractère ; par exemple les groupes sanguins du système ABO ; - proposer une définition d'un gène ; - analyser l'influence de facteurs de l'environnement sur l'expression d'un caractère.

4.3 La séquence codante d'un gène permet l'expression d'un caractère via la synthèse d'une protéine

Connaissances	Capacités
<p>L'ADN contient des unités d'information appelées gènes.</p> <p>Le génome est l'ensemble du matériel génétique d'un organisme.</p> <p>La séquence d'ADN du brin codant d'un gène est transcrite en une séquence d'ARN : c'est la transcription.</p> <p>Dans le cas de l'ARN messager, la séquence codante est traduite en une séquence d'acides aminés selon le code génétique universel : c'est la traduction.</p> <p>Les gènes des eucaryotes sont morcelés : ils comportent des séquences non codantes, les introns, et des séquences codantes, les exons. Avant la traduction, les introns sont éliminés de la molécule d'ARN messager par épissage.</p> <p>Chez les eucaryotes, la transcription a lieu dans le noyau, la traduction a lieu dans le cytosol.</p> <p>Les séquences d'ADN codant pour des protéines ne constituent qu'une partie du génome.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer deux séquences nucléotidiques et déterminer un pourcentage ou score de similitude ; - mettre en évidence l'organisation morcelée d'un gène eucaryote par comparaison d'une séquence d'ADN et d'une séquence protéique ; - transcrire la séquence d'un oligonucléotide d'ADN en une séquence d'ARN ; - utiliser le code génétique pour traduire la séquence d'un oligonucléotide d'ARN messager en une séquence peptidique ; - construire un schéma simplifié : <ul style="list-style-type: none"> . localisant la transcription et la traduction dans la cellule, . de la phase d'élongation de la transcription, . de la phase d'élongation de la traduction.

4.4 L'information génétique est conservée par réplication de l'ADN

Connaissances	Capacités
<p>Le cycle cellulaire des cellules eucaryotes se déroule en plusieurs phases.</p> <p>L'ADN est répliqué au cours de la phase de synthèse.</p> <p>La cellule se divise au cours de la phase de mitose.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - représenter le cycle cellulaire ; - analyser la courbe d'évolution de la quantité d'ADN par cellule durant le cycle.
<p>Pendant l'interphase, l'ADN eucaryote, porteur de l'information génétique, est associé à des protéines pour former la chromatine.</p> <p>La chromatine peut être diffuse ou dense ; elle atteint une compaction maximale au sein des chromosomes pendant la mitose.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser un schéma simple d'un chromosome ; - analyser les résultats d'un caryotype humain.
<p>La réplication de l'ADN est semi-conservative chez les procaryotes comme chez les eucaryotes.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation la structure double brin de la molécule d'ADN avec la réplication ; - analyser une expérience montrant le caractère semi-conservatif de la réplication.
<p>La mitose conduit à la formation de deux cellules-filles génétiquement identiques à la cellule-mère.</p> <p>Les quatre phases de la mitose sont identifiées par des événements structuraux caractéristiques.</p> <p>Les chromosomes comportent deux chromatides identiques qui se séparent au cours de la mitose ; l'information génétique de la cellule-mère est fidèlement transmise aux cellules-filles.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires et réaliser une préparation microscopique pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les quatre phases de la mitose ; - repérer les caractéristiques structurales essentielles des quatre phases de la mitose.

4.5 La reproduction sexuée permet la rencontre de deux informations génétiques

Connaissances	Capacités
<p>Les caractères phénotypiques parentaux sont transmis d'une génération à l'autre de façon variable.</p> <p>La méiose et la fécondation expliquent les lois statistiques de transmission des caractères.</p> <p>La méiose est constituée de deux divisions successives : la première réductionnelle et la seconde équationnelle.</p> <p>Au cours de la première division, les chromosomes homologues, réunis en tétrades, entrent en contact et peuvent alors échanger par enjambements ou crossing-over des segments homologues d'ADN.</p> <p>Au cours de la deuxième division, les chromatides recombinés se répartissent de façon aléatoire dans les gamètes ; ceci conduit à une ségrégation des allèles.</p> <p>La méiose conduit dans les gonades à l'élaboration des gamètes : ovules dans les ovaires et spermatozoïdes dans les testicules.</p> <p>La fécondation est la fusion de deux gamètes, ce qui participe au brassage génétique.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires, des modélisations pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - distinguer les cellules diploïdes et haploïdes ; - expliquer les brassages intra et inter chromosomiques à partir des comportements des chromosomes lors de la méiose ; - schématiser les étapes de la méiose pour une cellule initiale à au moins 3 paires de chromosomes homologues ; - légènder sur un schéma les différents organes des appareils reproducteurs masculin et féminin ; - schématiser et localiser le déroulement de la fécondation.
<p>L'étiologie montre que certaines pathologies ont une origine génétique, c'est-à-dire allélique ou chromosomique.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - caractériser une anomalie chromosomique de nombre ou de morphologie ; - établir une relation entre une maladie génétique, une forme allélique anormale et son expression.
<p>La procréation peut être assistée à différents stades de la reproduction sexuée.</p> <p>Réglementée, l'assistance à la procréation fait aussi l'objet de réflexions d'ordre éthique pouvant conduire à la limitation de son usage.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - repérer les différents stades de la reproduction sexuée pouvant être médicalement assistés ; - argumenter sur la dimension éthique des techniques mises en œuvre et de l'assistance à la procréation.

4.6 L'ADN est un objet des biotechnologies

Connaissances	Capacités
<p>L'analyse de l'ADN permet d'identifier un individu et d'établir sa filiation.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer le pourcentage de similitude entre deux individus ; - comparer des empreintes génétiques.
<p>Le patrimoine génétique d'un organisme peut être modifié afin de conférer à cet organisme de nouvelles potentialités.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier des domaines de production faisant intervenir des organismes génétiquement modifiés ; - identifier la potentialité recherchée par une modification génétique et les éventuels risques associés.
<p>Des recherches en thérapie génique explorent des pistes pour soigner les maladies génétiques.</p>	<p>Exploiter des ressources documentaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer la stratégie mise en œuvre dans une thérapie génique ; - distinguer, pour une thérapie génique donnée, ce qui est en cours de réalisation de ce qui est prospectif.

Thème 5 - Des systèmes vivants existent à grande échelle : écosystèmes et biosphère

Systèmes vivants de grande échelle, la biosphère et ses écosystèmes participent aux échanges de matière et d'énergie entre différentes enveloppes terrestres ; la biosphère contribue ainsi au recyclage de la matière et des éléments qui la constituent.

Les organismes vivants, quant à eux, peuvent être utilisés comme agents de dépollution ou d'élaboration d'espèces chimiques ; des procédés sont actuellement exploités à l'échelle industrielle et d'autres sont encore étudiées à l'état de prototype. Tous s'attachent à résoudre des problèmes sociétaux et environnementaux.

5.1 Les organismes vivants sont divers mais apparentés

Connaissances	Capacités
La biodiversité est le témoin d'une évolution toujours en cours. Les organismes vivants peuvent être positionnés sur un arbre phylogénétique .	Exploiter des ressources documentaires pour : - relier biodiversité et génomes ; - construire ou analyser des arbres phylogénétiques simples ; - relier ces arbres aux séquences d'ADN.

5.2 Le sol et l'agrosystème sont deux écosystèmes de surface

Connaissances	Capacités
Le sol est le produit des interactions entre biosphère, lithosphère et atmosphère. Le sol est un écosystème caractérisé par une faune et une flore singulières permettant un recyclage de la matière.	Exploiter des ressources documentaires, une activité expérimentale, une étude de terrain , pour : - identifier les constituants minéraux et organiques d'un sol ; - établir une relation entre les constituants d'un sol et l'origine de la formation de ce sol ; - mettre en évidence l'existence d'organismes et de microorganismes dans le sol et identifier leur importance dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique du sol ; - construire un réseau trophique du sol ; - établir une relation entre ce réseau trophique et le cycle de la matière.
Un agrosystème est un écosystème maintenu artificiellement en déséquilibre par l'homme.	Exploiter des ressources documentaires, une étude de terrain pour : - établir le bilan des échanges de matière et d'énergie (entrées et sorties) d'un agrosystème ; - relier ce bilan à l'importance de l'activité humaine.

5.3 La biosphère est une interface entre différentes enveloppes terrestres

Connaissances	Capacités
En échangeant matière et énergie avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, la biosphère participe aux cycles de divers éléments.	Exploiter des ressources documentaires pour : - relier la complémentarité des métabolismes (auto, hétérotrophie) et la cellulolyse au recyclage de l'élément carbone ; - relier la production de nitrites, de la fixation biologique du diazote au recyclage de l'élément azote ; - construire des cycles simples du carbone et de l'azote à l'échelle de la biosphère.

5.4 Les organismes vivants sont utilisés par l'Homme comme agents de dépollution et de production

Connaissances	Capacités
<p>L'Homme exploite les voies métaboliques particulières d'organismes vivants dans certains procédés industriels, comme par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - épuration des eaux usées ; - production de carburants ou d'autres molécules de synthèse ; - esters issus d'huiles végétales (Diester ou EMHV) ; - alcools issus de la fermentation de l'amidon ou autres glucides ; - lipides issus des algues ; - gazéification des déchets. 	<p>Exploiter des ressources documentaires, une activité expérimentale, une étude de terrain pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dans les procédés épuration des eaux usées : <ul style="list-style-type: none"> . identifier les étapes mettant en œuvre des organismes vivants et préciser leur rôle ; - dans la production de carburants : <ul style="list-style-type: none"> . identifier les procédés mettant en œuvre des organismes vivants pour élaborer différents carburants ou molécules de synthèse, . analyser les critères de choix de production de carburants ou d'autres molécules, en termes environnemental et sociétal, . appréhender les aspects éthiques soulevés par l'utilisation de la biomasse pour produire les carburants.

SÉRIE "SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA SANTÉ ET DU SOCIAL"

INTRODUCTION GÉNÉRALE (CYCLE TERMINAL)

Vers une poursuite d'études affichée

Au même titre que les autres baccalauréats de la voie générale ou technologique, le baccalauréat de la série "Sciences et technologies de la santé et du social" vise à préparer l'élève à la poursuite d'études. La démarche spécifique des enseignements technologiques, associée aux apports des enseignements généraux du baccalauréat technologique "Sciences et technologies de la santé et du social" développe les compétences nécessaires à tout bachelier pour accéder aux études supérieures et en particulier, l'aptitude à travailler en autonomie, à développer une analyse et une réflexion critique. Elle leur permet aussi de posséder des repères culturels et institutionnels propres aux secteurs de la santé et du social.

Les élèves qui s'engagent dans cette série expriment l'intérêt qu'ils portent aux questions sanitaires et sociales du monde contemporain. Ils auront accès à une grande diversité d'études supérieures débouchant sur des emplois techniques du secteur paramédical ou social, des emplois techniques des services à la personne ou sur des emplois technico-administratifs, au moins de niveau III, dans ces mêmes secteurs. Parmi ces formations :

- les formations paramédicales (infirmier, diététicien, manipulateur en électroradiologie médicale, ergothérapeute...) qui recrutent pour certaines par concours, pour d'autres sur dossier ;
- les formations débouchant sur les emplois du travail social (conseiller en économie sociale familiale, assistant de service social, éducateur spécialisé, éducateur de jeunes enfants...) qui recrutent aussi, pour la plupart, par épreuves de sélection ou sur dossier, avec souvent une exigence de vécu ou d'expérience dans le secteur ;
- les formations technico-administratives attendues par les services qui accueillent les publics en demande de soins ou en demande sociale : emplois d'assistants des professionnels de santé ou du social.

Ces formations de niveau III, éventuellement complétées par une licence professionnelle, doivent trouver dans le baccalauréat "Sciences et technologies de la santé et du social" les connaissances de base sur lesquelles viendront prendre appui les compétences techniques et les approfondissements propres aux différents métiers.

La spécificité des métiers exercés dans les secteurs sanitaires et sociaux implique :

- une formation scientifique solide ;
- une bonne connaissance des besoins des individus et des groupes sociaux ;
- la compréhension du fonctionnement des structures et des dispositifs mis en place dans le cadre des politiques sanitaires et sociales ;
- des qualités humaines et relationnelles ancrées sur une solide motivation.

Ainsi le développement d'une culture médico-sociale confère à ces bacheliers un ensemble d'aptitudes qui doit leur permettre de mieux appréhender les formations et les enjeux des métiers auxquels ils se destinent.

Compétences visées

Le titulaire du baccalauréat "Sciences et technologies de la santé et du social" est capable :

- d'analyser des faits de société posant des questions sanitaires ou

sociales au plan local, national, européen, mondial, en mettant en évidence leurs dimensions économiques, historiques, sociologiques, politiques ;

- de caractériser l'état de santé et de bien-être social des populations, des groupes sociaux, en prenant en compte les aspects biologiques, sociologiques, culturels, environnementaux... ;
- de comprendre la relation entre les demandes en matière de santé et de vie sociale et les réponses politiques et institutionnelles ;
- de distinguer les objectifs des politiques de santé publique, de protection sociale, d'action sociale ;
- d'identifier les organisations mises en place (institutions, dispositifs...) au niveau national et local, d'en caractériser les missions, les acteurs, les méthodes et les outils ;
- de situer la place des professionnels de santé et du secteur social et leur complémentarité ;
- de différencier les finalités, les étapes, les modalités de mise en œuvre de la démarche de projet, dans la diversité de ses applications ;
- d'analyser et d'utiliser les méthodes et les outils permettant la collecte, la circulation, la communication et la protection des informations sanitaires et sociales et ce, dans le respect du droit des personnes et de l'éthique professionnelle.

Présentation des programmes

Les programmes de la série précisent les connaissances ordonnées à acquérir. La présentation n'induit en aucun cas une chronologie d'enseignement, mais une simple mise en ordre des concepts.

Le degré d'approfondissement est présenté sous la forme d'une taxonomie à quatre niveaux :

1 - Niveau d'information : le contenu est relatif à l'appréhension d'une vue d'ensemble d'un sujet. Les réalités sont montrées sous certains aspects de manière partielle ou globale. Ceci peut se résumer par la formule "l'élève en a entendu parler et sait où trouver l'information". Il n'y a pas d'évaluation envisageable à l'examen pour les savoirs situés à ce niveau d'approfondissement.

2 - Niveau d'expression : le contenu est relatif à l'acquisition de moyen d'expression et de communication permettant de définir et utiliser les termes composant la discipline. Le "savoir" est maîtrisé. Ceci peut se résumer par la formule "l'élève sait en parler".

3 - Niveau de maîtrise des outils : le contenu est relatif à la maîtrise de procédés et d'outils d'étude ou d'action (lois, démarches, actes opératifs, ...) permettant d'utiliser, de manipuler des règles, des principes ou des opérateurs techniques en vue d'un résultat à atteindre. Il s'agit de maîtriser un "savoir-faire". Ceci peut se résumer par la formule "l'élève sait faire".

4 - Niveau de maîtrise méthodologique : le contenu est relatif à la maîtrise d'une méthodologie d'énoncé et de résolution de problèmes en vue d'assembler et organiser les éléments d'un sujet, identifier les relations, raisonner à partir de celles-ci, décider en vue d'un but à atteindre.

Il s'agit de maîtriser une démarche. Ceci peut se résumer par la formule "l'élève maîtrise la méthode".

Chacun de ces niveaux englobe les précédents

Un document d'accompagnement publié par ailleurs rassemble les recommandations pédagogiques, notamment en termes méthodologique et d'organisation de l'enseignement.

PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

CLASSE DE PREMIÈRE

Introduction

Ce programme offre aux élèves, en général motivés, des éléments essentiels de culture scientifique, en liaison avec la biologie et le domaine médical, ainsi que quelques apprentissages méthodologiques généraux. Son contenu doit leur permettre la poursuite d'études supérieures à tous niveaux et la préparation des concours spécifiques des secteurs sanitaire et social. Il contribue ainsi, pour tous les élèves, à une meilleure compréhension de leur futur environnement professionnel.

Par son niveau d'exigence et par le volume de ses connaissances et de ses savoir-faire, ce programme développe l'apprentissage d'une démarche scientifique rigoureuse et d'une analyse critique

argumentée. Le professeur aborde le programme par des entrées liées à la vie courante en relation étroite avec des applications concrètes, notamment dans le monde médical.

Il s'appuie sur les acquis et sur les représentations préalables des élèves ; chaque fois que possible, il part de l'analyse d'une situation-problème. Il diversifie ses pratiques d'évaluation (formative, sommative, théorique, expérimentale, de documentation) et s'assure de la régularité du travail personnel de l'élève.

Les séances de travaux pratiques sont articulées avec les cours pour permettre la maîtrise de savoir-faire fondamentaux et faciliter la compréhension des élèves.

Afin de tenir compte du temps réservé aux activités pluridisciplinaires, le programme de sciences physiques et chimiques est établi sur la base de 29 semaines.

PÔLE "PHYSIQUE ET SANTÉ"

1 - LA VISION	Niveau			
	1	2	3	4
1.1 L'œil : système optique				
1.2 Les lentilles minces				
Lentilles minces convergentes et divergentes :				
- effet sur un faisceau ; - centre optique, foyers ;				
- distance focale et vergence, unités ; - rayons particuliers.				
Lentilles minces convergentes :				
- Construction de l'image d'un objet donné par une lentille convergente à l'aide de rayons particuliers ;				
- Mesure de la distance focale d'une lentille convergente ;				
- Grandissement : définition.				
1.3 L'œil réduit ; certains défauts et leurs corrections				
Vision d'un œil normal				
Définitions du punctum proximum (PP) et du punctum remotum (PR) ; positions pour un œil normal (ou emmétrope)				
Rôles du cristallin, de la cornée et de l'humeur vitrée ; phénomène d'accommodation				
Conditions de la vision d'un objet (pénétration de lumière dans l'œil, distance de l'objet)				
Principaux défauts de l'œil : astigmatisme, myopie, hypermétropie, presbytie				
Rôle des verres correcteurs, des lentilles cornéennes (lentilles accolées)				
1.4 Réflexion totale ; fibroscopie				
Rappels succincts sur la réfraction de la lumière				
Réflexion totale				
Application aux fibres optiques et à la fibroscopie				

Précisions :

La mesure expérimentale de la distance focale d'une lentille mince convergente s'effectue uniquement dans le cas d'une source à l'infini. Le professeur ne fera pas de travaux pratiques de focométrie et ne traitera pas le cas d'objet virtuel. La notion d'image virtuelle est hors programme.

En ce qui concerne les constructions, on se limite au tracé des rayons particuliers sans représentation de faisceau.

Le choix du verre correcteur de l'œil s'explique par la nécessité de rendre un faisceau plus ou moins convergent.

Pour le grandissement, on se limite à l'exploitation de la construction.

Dans l'approche de l'astigmatisme, le professeur se limite à indiquer que ce défaut est dû à des inégalités de la courbure de la cornée et à des milieux transparents non homogènes. Cette notion n'est pas exigible.

Pour les fibres optiques, on n'aborde pas la technologie.

Les conditions de Gauss ne sont pas au programme.

2 - LES ONDES AU SERVICE DE LA SANTÉ	Niveau			
	1	2	3	4
2.1 Les radiations électromagnétiques visibles				
Domaine des longueurs d'ondes visibles				
Courbe d'absorption				
Laser et applications :				
- propriétés du faisceau laser : monochromaticité, directivité, densité d'énergie ;				
- utilisations en chirurgie, ophtalmologie, oncologie, dermatologie, cardiologie.				
Luminothérapie				
2.2 IR, UV, rayons X				
Domaines des radiations électromagnétiques				
Sources et nature des rayonnements IR, UV, X et classement dans l'ensemble des radiations électromagnétiques (en longueur d'onde)				
Applications des rayonnements IR, UV et X :				
- IR : thermomètre médical ;				
- UV : dangers comparés des UVA, UVB, UVC, dangers des lampes UV ; crèmes solaires ; protection de l'œil (lunettes de soleil) ; désinfection ; résine dentaire ;				
- X : radiothérapie, radioprotection, radiographie et tomodensitométrie (ou scanner).				
Importance de la couche d'ozone				
Facteurs d'absorption des rayons X				
2.3 Sons et ultrasons				
Nature et propriétés des sons et des ultrasons : absorption et réflexion				
L'oreille : récepteur acoustique, nuisances sonores et protection de l'audition				
Applications médicales : principe de l'échographie (influence qualitative de différents facteurs : fréquence, nature, épaisseur et profondeur du milieu, puissance de la source)				
2.4 Analogies et différences entre radiographie, scanner, échographie				

Précisions :

Le professeur signale qu'il existe deux types d'imagerie médicale, la tomodensitométrie (ou scannographie) et l'imagerie par résonance magnétique (IRM), mais que cette dernière ne sera vue qu'en classe terminale.

Le professeur réinvestit avec profit les notions de longueurs d'onde, de radiations et de spectres vues en classe de seconde.

Il est conseillé de réaliser, sous forme de travaux pratiques, quelques expériences relatives aux ultrasons.

On n'entre pas dans le principe de fonctionnement de l'oscilloscope utilisé pour cette étude.

En ce qui concerne l'oreille, on en donne une description et un fonctionnement succincts, on précise les fréquences audibles, la sensibilité et le niveau d'intensité acoustique. L'introduction du décibel se fait sans utiliser la notion de logarithme.

3 - APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ	Niveau			
	1	2	3	4
3.1 Sécurité des personnes et des appareils				
Tension alternative sinusoïdale : - visualisation à l'oscilloscope ; - mesure au multimètre ; - valeurs efficace et maximale, période, fréquence ;				
- exploitation de mesures au multimètre et d'oscillogrammes : tensions efficace et maximale, période d'une tension alternative sinusoïdale ; calcul de fréquences.				
Notion sommaire sur les classes des appareils				
Prise de courant : notions de phase, de neutre et de mise à la terre				
Électrisation et électrocution ; approche qualitative sur la sécurité dans une installation domestique				
3.2 Électricité au service de la médecine				
Tension et applications : électrocardiogramme, électroencéphalogramme, électrochoc				
Porteurs de charges et application : électrophorèse				
3.3 Puissance et énergie électriques				
Rappels sur la relation entre puissance et énergie ; unités (W, J, kWh)				
Puissance électrique consommée par des appareils domestiques et médicaux				

Précisions :

Pour l'étude de l'électricité au service de la médecine, il ne s'agit pas d'étudier les appareils ni la physiopathologie humaine correspondante mais d'assurer le lien indispensable avec quelques applications importantes du domaine médical sous forme notamment d'activités documentaires.

De même, des notices techniques d'appareils et leurs plaques signalétiques ainsi qu'une facture EDF peuvent être proposées aux élèves pour extraire des informations pertinentes, les analyser et les exploiter.

En ce qui concerne la sécurité dans le domaine électrique, il y a lieu d'insister sur le rôle du fil de masse, sur la classe des appareils et leur maintenance (vétusté ou usure des fils d'alimentation par exemple) en incitant les élèves à un respect absolu des règles.

L'utilisation de l'oscilloscope permet de visualiser les tensions alternatives délivrées par un générateur BF.

PÔLE "CHIMIE ET SANTÉ"

7 - LES MOLÉCULES ORGANIQUES DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ	Niveau			
	1	2	3	4
7.1 Le lait et ses constituants				
Principaux constituants du lait : eau, glucides, lipides, protéines, vitamines, ions minéraux				
Réalisation de tests de reconnaissance de quelques espèces présentes dans le lait				
7.2 Étude de quelques groupes caractéristiques en chimie organique				
Rappels sur la structure électronique des atomes C, H, O, N ; règles du duet et de l'octet pour C, H, O et N Introduction aux chaînes carbonées avec les alcanes : structure succincte et nomenclature				
Groupes caractéristiques : alcools (primaire, secondaire, tertiaire) ; dérivés carbonylés (aldéhyde, cétone) ; acides carboxyliques ; amines primaires				
7.3 Quelques notions sur les glucides				
Classement succinct des glucides				
Reconnaissance des groupes caractéristiques dans les modèles moléculaires de quelques glucides simples				
Transformations enzymatique et en milieu acide du lactose ; reconnaissance des fonctions alcool primaire, secondaire et aldéhyde dans la formule d'un sucre réducteur (glucose ou galactose)				
Solubilité dans l'eau des glucides : concentrations molaire et massique en espèce apportée, solution saturée				
Liaisons polarisées et polarité de la molécule d'eau ; notion sur la liaison hydrogène				
Différenciation expérimentale des aldéhydes et des cétones				
Aspect énergétique des transformations chimiques : - intérêt énergétique des sucres ; - réactions de dégradation de composés organiques.				

Précisions :**Le lait et ses constituants**

Il s'agit d'une présentation générale, sans exhaustivité, des constituants du lait en lien avec les acquis du collège et de la classe de seconde sur les atomes, les ions et les molécules.

Étude de quelques groupes caractéristiques (ou fonctionnels) en chimie organique

À partir des molécules rencontrées dans le lait, il s'agit de présenter les principaux groupes caractéristiques intervenant dans la structure de certaines espèces (lactose, acide lactique) sans étudier leurs propriétés chimiques. Conformément aux recommandations de l'UICPA, les noms usuels des composés seront utilisés parallèlement aux noms officiels. Il est possible de s'appuyer sur les résultats d'une analyse médicale. On ne manque pas de signaler des exemples tels que le glycérol, le glucose, les acides aminés. La mémorisation de ces formules n'est pas exigible.

L'étude des groupes caractéristiques sera précédée d'une présentation des chaînes carbonées en s'appuyant sur l'exemple des alcanes et des espèces chimiques contenues dans le lait : on abordera succinctement leur structure et on s'attachera à présenter leur nomenclature dont l'importance en chimie organique est primordiale. On utilise des modèles moléculaires et/ou des logiciels de visualisation.

On se limite aux composés à six atomes de carbone au maximum dans des cas simples.

Le professeur réinvestit les acquis de seconde sur masse molaire, quantité de matière, concentrations molaire et massique, préparations d'une solution par dilution d'une solution mère et par dissolution d'un solide, sans oublier d'assurer le lien avec les résultats d'analyses médicales (glucose et diabète...). Il utilise le tableau d'avancement s'il le juge nécessaire.

Le caractère énergétique des transformations chimiques est à aborder qualitativement en lien avec la biochimie.

Seul le réactif de Fehling est utilisé pour caractériser les aldéhydes. Le professeur n'écrit pas l'équation chimique correspondante.

9 - INTRODUCTION AUX ACIDES ET AUX BASES	Niveau			
	1	2	3	4
9.1 Définitions				
Définition et notation d'une concentration (C en espèce apportée et [X] pour X en solution aqueuse)				
$[H_3O^+] = 10^{-pH}$				
Mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre				
Produit ionique de l'eau à 25° C				
Solutions acide, basique, neutre				
Notions d'acides et de bases, forts et faibles				
9.2 Présentation des acides et des bases				
Théorie de Brønsted : acide, base et couple acido-basique				
Exemples de couples (couples de l'eau, de l'ion hydrogénocarbonate, de l'acide lactique, de l'acide phosphorique)				
Réalisation de solutions acides et basiques de concentrations connues à partir d'une solution mère et mesures de pH				
Influence qualitative de la dilution sur le pH				

Précisions :

Pour caractériser un acide (ou une base) fort ou faible, on mesure le pH de solutions aqueuses de concentrations connues en espèces apportées et on se limite à comparer à la concentration en ion oxonium (ou hydroxyde) en connaissant $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ et le produit ionique de l'eau.

Pour comparer des acides entre eux (ou des bases entre elles), on utilise des solutions de même concentration à la même température.

On revient sur l'acide lactique qui est un bon exemple pour illustrer les groupes caractéristiques acide carboxylique et alcool ainsi que la notion de solution d'acide faible. L'étude de la chiralité de la molécule d'acide lactique ne sera pas abordée (étude du carbone asymétrique en classe terminale).

Pour l'influence de la dilution sur le pH, la loi de dilution d'Ostwald est hors programme.

On écrit de préférence les demi-équations avec un signe égal.

11 - ANTISEPTIQUES ET DÉSINFECTANTS	Niveau			
	1	2	3	4
11.1 Quelques antiseptiques et désinfectants courants ; leurs usages				
Principes actifs des antiseptiques et désinfectants usuels : ClO^- , H_2O_2 , I_2 , MnO_4^-				
Usages des antiseptiques et désinfectants courants et précautions pour leur conservation et leur utilisation (eau de Javel, eau oxygénée, eau et alcool iodés, solution aqueuse de permanganate de potassium) ; toxicité				
11.2 Oxydo-réduction en solution aqueuse				
Introduction expérimentale du modèle par transfert d'électrons Exemples de réactions entre un métal et un ion métallique (couples Ag^+/Ag , Cu^{2+}/Cu , Fe^{2+}/Fe et Zn^{2+}/Zn) Réactivité du zinc, du fer et du cuivre avec une solution diluée d'acide chlorhydrique. Mise en évidence des produits de la réaction : dihydrogène et ions métalliques Définition des termes : oxydant et réducteur, oxydation et réduction Première notion de couple redox				
Écrire la demi-équation des couples M^{n+}/M et H^+/H_2				
11.3 Action oxydante d'antiseptiques et de désinfectants usuels				
Équations d'oxydo-réduction mettant en jeu les antiseptiques et désinfectants usuels, les demi-équations étant données (I_2/I^- , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$, $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$, ClO^-/Cl^- pour les expériences avec Fe^{2+} et avec I^-)				
Applications et sécurité : - eau de Javel en présence de solutions acides (couples ClO^-/Cl_2 et Cl_2/Cl^-) ; - eau oxygénée concentrée.				
11.4 Notion succincte de cinétique réactionnelle				
Facteurs qui influencent l'avancement d'une réaction chimique (température, concentration initiale) Définition d'un catalyseur Différents types de catalyse : catalyse homogène, catalyse hétérogène, catalyse enzymatique				

Précisions :

L'objectif est d'asseoir les quelques connaissances d'oxydoréduction nécessaires à la compréhension du mode d'action des antiseptiques et des désinfectants, de maîtriser leur utilisation dans le respect des règles de sécurité et de savoir prendre des précautions lors de leur stockage. On réinvestit la technique de dilution à cette occasion.

On interprète les réactions précédentes en terme de transfert d'électrons. On introduit la notion de demi-équation. On écrit de préférence les demi-équations avec un signe égal et les équations chimiques avec une flèche.

On définit une réaction d'oxydoréduction et le couple oxydant-réducteur à partir des exemples étudiés.

L'élève doit savoir écrire et exploiter les équations d'oxydo-réduction intervenant dans les antiseptiques et désinfectants usuels, les demi-équations étant données.

On n'étudie pas le cas des solutions acides à anions pouvant dans les conditions expérimentales jouer le rôle d'oxydant. On n'oublie pas que les ions sont hydratés en solution aqueuse mais pour simplifier l'écriture des équations, on pourra écrire les ions métalliques sous la forme M^{n+} et le proton hydraté sous la forme simplifiée H^+_{aq} ou H^+ .

Il est nécessaire d'attirer l'attention des élèves sur les problèmes de sécurité. En particulier, il est demandé ne jamais verser d'eau de Javel sur un détartrant contenant de l'acide chlorhydrique.

À propos de l'eau oxygénée, le professeur présente expérimentalement quelques facteurs qui accélèrent les réactions de dismutation : température, concentration initiale, catalyseurs (les ions fer (III) en catalyse homogène, le platine divisé ou en fil en catalyse hétérogène, la catalase en catalyse enzymatique).

On présente un catalyseur comme une espèce chimique qui accélère une réaction thermodynamiquement possible. Toutes les notions de vitesse sont hors programme.

Programme de Sciences physiques et chimiques

Série « Sciences et technologies de la santé et du social »

CLASSE TERMINALE

PÔLE « PHYSIQUE ET SANTÉ »

4 – PRESSION ET CIRCULATION SANGUINE	Niveau			
	1	2	3	4
4.1. Pression				
- Rappels sur la représentation d'une force : caractéristiques (point d'application, direction, sens, valeur) ; modélisation ; mesure, unité				
- Pression :				
- schématisation d'une force pressante ; définition et application de la relation : $p = \frac{F}{S}$				
- unités SI et usuelles, mesures et ordres de grandeur ; pression atmosphérique				
- Applications : - piqûre - pression et plongée (pression partielle, embolie gazeuse, paliers de décompression)				
4.2 Tension artérielle				
- Masse volumique : définition, unités SI et autres unités usuelles				
- Définition et applications de la densité d'un liquide				
- Pression en un point d'un liquide en équilibre				
- Énoncé et applications de la loi fondamentale de la statique des fluides				
- Application à la tension artérielle				
4.3 Écoulement des liquides				
- Définition du débit en volume ; application en régime permanent ; unités ($m^3 \cdot s^{-1}$, $L \cdot min^{-1}$)				
- Proportionnalité du débit et de la différence de pression en régime permanent laminaire : $D = \frac{\Delta p}{R}$ (R est la résistance hydraulique du tuyau considéré pour le fluide qui circule ; approche qualitative des facteurs influençant R)				

Précisions : La schématisation d'une force pressante n'est envisagée que dans le cas de forces orthogonales aux surfaces (pressions exercées par des fluides en équilibre).

Le professeur se limite au lien entre densité et masse volumique.

La notion de pression partielle est introduite à propos des échanges gazeux en biochimie pour expliquer la diffusion gazeuse.

Dans la première partie concernant la pression, l'enseignant se limite à une approche qualitative pour les gaz.

L'écoulement des liquides est étudié de façon simplifiée. Les lois de Poiseuille et de Bernoulli ne sont pas au programme.

5 – PHYSIQUE ET AIDE AUX DIAGNOSTICS MÉDICAUX	Niveau			
	1	2	3	4
5.1. Ondes électromagnétiques et corpuscule associé : le photon				
- Échelle des longueurs d'ondes pour les différents domaines : γ , X, UV, visible, IR, micro-ondes, ondes hertziennes				
- Célérité de la lumière dans le vide				
- Le photon : $E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$				
- Énergie, fréquence, longueur d'onde				
- Compléments sur les dangers des rayonnements électromagnétiques				
5.2 Médecine nucléaire				
- Noyau atomique				
- Radioactivité α , radioactivité β (β^- , β^+)				
- Désexcitation : rayonnement γ et énergie du photon associé				
- Lois de conservation (nombre de charge et nombre de nucléons)				
- Définition de l'activité et unité ; période ou demi-vie ; conséquences				
- Effets des désintégrations radioactives, dangers et moyens de protection				
- Définition de la dose absorbée et unité ; définition de l'équivalent de dose et unité				
- Traceurs et scintigraphie, cobaltothérapie				
- Traitement des déchets radioactifs médicaux				
5.3 Champ magnétique				
- Champ magnétique uniforme créé par un aimant en U et par un solénoïde parcouru par un courant continu ; vecteur champ magnétique, lignes de champ, spectre magnétique ; unité de champ magnétique				
- Création d'un champ magnétique intense : électro-aimant supraconducteur				
- Application : IRM				

Précisions : Les définitions de la dose absorbée et de l'équivalent de dose ainsi que des unités correspondantes ne sont pas à mémoriser.

Le champ magnétique est étudié qualitativement de façon expérimentale. L'élève n'a pas à mémoriser l'expression du champ dans un solénoïde. L'influence du sens du courant sur le sens du vecteur champ est hors programme ainsi que les noms des faces d'une spire. Le champ magnétique terrestre est hors programme.

Certaines activités sont en relation avec l'éducation à l'environnement pour un développement durable.

6 – ÉNERGIE CINÉTIQUE ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE	Niveau			
	1	2	3	4
6.1. Travail d'une force				
- Travail d'une force vectoriellement constante au cours d'un déplacement rectiligne entre deux points				
- Cas particulier : travail du poids d'un corps pour un déplacement quelconque				
- Unité de travail				
6.2. Définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation ; unité ; théorème de l'énergie cinétique				
6.3. Applications				
- Chute libre				
- Sécurité routière (distance de freinage, distance d'arrêt) ; influence des facteurs (route mouillée, alcoolémie, drogues et médicaments, téléphone portable...)				

Précisions : Le professeur se limite à des cas simples de calculs de travaux. Pour le poids, il généralise à un déplacement quelconque sans démonstration. Il se limite à $W = (+/-) m \cdot g \cdot h$ avec h donné.

Le produit scalaire et le travail élémentaire ne sont pas au programme.

L'élève doit savoir appliquer la relation $W = F \cdot l \cdot \cos \alpha$ pour $\alpha = 0^\circ$, 90° et 180° .

PÔLE « CHIMIE ET SANTÉ »

8 – DES MOLÉCULES DE LA SANTÉ	Niveau			
	1	2	3	4
8.1. L'aspartame				
- Groupes caractéristiques présents dans cette molécule : acide carboxylique, amine primaire, amide, ester				
- Dose journalière admissible (DJA)				
8.2 Acides aminés				
- Hydrolyse de l'aspartame				
- Formule générale et exemples d'acides α -aminés ; chiralité ; atome de carbone asymétrique				
- Représentation de Fischer d'un acide α -aminé. Configurations D et L d'un acide α -aminé				
- Réalisation de modèles moléculaires				
8.3 Liaison peptidique				
- Liaison peptidique ; cas particulier du groupe caractéristique amide : formule semi-développée ; planéité				
- Synthèse peptidique :				
- principe de la synthèse des dipeptides, équation				
- hydrolyse d'un dipeptide, équation				
- généralisation à la synthèse d'un polypeptide				
8.4 Les esters				
- Groupe caractéristique ester ; exemples d'esters et nomenclature ; formule semi-développée				
- Réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester				
- Équilibre estérification - hydrolyse (propriétés, équilibre dynamique)				
- Cas particulier : les triglycérides				
- Formule semi-développée du glycérol et nomenclature systématique				
- Acides gras saturés et insaturés				
- Estérification du glycérol par les acides gras et hydrolyse d'un triglycéride				
- Propriétés chimiques des triglycérides en lien avec la santé : dégradation à la chaleur, oxydation à l'air, hydrogénation (graisses saturées et poly-insaturées)				
- Exemple de polyesters : biomatériaux, polymérisation de l'acide lactique par polycondensation				

Précisions : La connaissance des formules de l'aspartame et de l'acide lactique ne sont pas exigibles des élèves. Par hydrolyse en milieu acide, l'aspartame donne deux acides aminés : l'acide aspartique (acide 2-aminobutanedioïque) et la phénylalanine (acide 3-phényl-2-aminopropanoïque) ainsi que du méthanol. La formule générale d'un acide α -aminé sera représentée par $H_2N-CHR-CO_2H$. On note la présence de deux groupes caractéristiques importants de la chimie organique : le groupe $-CO_2H$, appelé groupe carboxyle et le groupe amine primaire $-NH_2$.

On note aussi la présence d'un atome de carbone asymétrique sauf pour la glycine. L'étude des amines n'est pas au programme. Le professeur signale à propos des réactions d'hydrolyse de la liaison peptidique l'existence de cette famille de composés. On présentera le tableau des vingt principaux acides α -aminés constitutifs des protéines. Les élèves ne sont pas tenus de mémoriser le nom ainsi que la formule d'acides aminés particuliers ni de savoir appliquer les règles de nomenclature de l'UICPA.

L'enseignant n'oubliera pas les conséquences sur la santé d'une consommation excessive d'aspartame et de graisses saturées. Les formules des acides α -aminés peuvent présenter d'autres groupes caractéristiques ; l'enseignant signale succinctement que ces groupes se retrouvent dans les chaînes latérales des protéines et leur donnent des propriétés spécifiques.

En ce qui concerne la chiralité des acides α -aminés, on donne la représentation de Fischer et la nomenclature D et L ; on fait remarquer que chez les mammifères n'existent que les acides α -aminés correspondant à la série L. La nomenclature R ou S n'est pas au programme.

Pour la nomenclature des esters, le professeur se limitera aux esters linéaires issus d'acides carboxyliques et d'alcools comportant au maximum trois atomes de carbone.

Le professeur se limite à une étude succincte de l'équilibre d'estérification - hydrolyse sans étudier l'influence des différents paramètres sur la vitesse (hors programme) et sur la limite atteinte à l'équilibre.

Les phospholipides peuvent être évoqués en lien avec la biochimie.

Les différentes réactions rencontrées en chimie organique peuvent mettre en œuvre des compétences relatives aux quantités de matière.

10 – ACIDES ET BASES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES	Niveau			
	1	2	3	4
10.1 Acides faibles et bases faibles en solution aqueuse				
- Constante d'acidité ; pKa ; domaine de prédominance				
- Exemples d'acides faibles et de bases faibles ($\text{RCO}_2\text{H}/\text{RCO}_2^-$, $\text{H}_4\text{N}^+/\text{NH}_3$)				
- Applications en biologie : acide pyruvique, acide urique				
- Réaction acido-basique par transfert de proton ; constante d'acidité ; équivalence acido-basique ; courbes de dosage pH-métrique (tracé ; équation de la réaction ; points caractéristiques dans les cas : acide fort – base forte, acide faible – base forte et base faible – acide fort)				
- Solution tampon : notion, propriétés et applications				
10.2 Saponification				
- Réaction de saponification ; notion de rendement ; réaction totale				
- Formule générale d'un savon ; mode d'action : pôles hydrophile et hydrophobe				
- Applications : micelles, liposomes				

Précisions : Il est souhaitable d'illustrer cette partie par des exemples de la vie quotidienne et du monde médical, notamment avec le vinaigre, le lait, l'eau de Javel, le dioxyde de carbone, les acides gras, l'acide pyruvique (provient de la glycolyse : dégradation du glucose), l'acide urique (résulte surtout de la synthèse et de la dégradation des acides nucléiques organiques). Les milieux biologiques envisagés sont des solutions aqueuses.

On peut parler à cette occasion des propriétés de causticité de la soude pour la peau et les muqueuses. La présence de soude dégrade par saponification les lipides constituant les membranes cellulaires.

Les solutions tampon sont introduites qualitativement à partir des courbes de dosage ; les propriétés sont introduites expérimentalement ; le pouvoir tampon est hors programme.

Pour la saponification, le professeur se limite à l'action de la soude sans développement excessif.

12 – SOLUTIONS AQUEUSES D'ANTISEPTIQUES	Niveau			
	1	2	3	4
12.1 Oxydoréduction en chimie organique				
- Oxydation ménagée des alcools :				
- groupes caractéristiques des différentes classes d'alcool, d'un aldéhyde et d'une cétone ; tests des dérivés carbonyles				
- produits résultant de l'oxydation ménagée des différentes classes d'alcool et d'un aldéhyde				
- équation d'une réaction d'oxydation d'un alcool, les demi-équations correspondantes étant données				
- Application aux sucres réducteurs (glucose, lactose...)				
12.2 Dosages d'oxydoréduction				
- Dosage d'une solution aqueuse de diiode (solution pharmaceutique d'antiseptique) par le thiosulfate de sodium en solution aqueuse ; équation d'oxydoréduction ; relation à l'équivalence				
- Dosage d'une eau oxygénée par manganimétrie ; équation d'oxydoréduction ; relation à l'équivalence ; titre d'une solution d'eau oxygénée ; relation entre le titre en volume, sa concentration molaire en peroxyde d'hydrogène (lien avec l'étiquette)				
- Connaissance du matériel nécessaire pour réaliser un dosage				

Précisions : On étudie l'oxydation ménagée des alcools et la différence entre l'oxydation ménagée d'un aldéhyde et d'une cétone compte tenu des applications en biochimie ; on se limite à l'utilisation de la 2,4-DNPH et au réactif de Fehling. Le professeur traite notamment l'oxydation de l'acide lactique en acide pyruvique.

Le professeur ne distingue pas la présence d'un défaut ou d'un excès d'oxydant.

Dans le test au réactif de Fehling, l'élève doit savoir que les ions cuivre (II) complexés (par les ions tartrate) sont réduits à chaud en oxyde de cuivre (I) rougeâtre tandis que l'aldéhyde est oxydé en ion carboxylate correspondant (car le milieu est basique) ; les élèves doivent être responsabilisés au respect des règles de sécurité. Les demi-équations et l'équation de la réaction ne sont pas exigibles. L'équivalence est définie par le changement de réactif limitant ou lorsque les réactifs ont été introduits dans les proportions stoechiométriques.

En raisonnant à partir de l'équation de la réaction, l'élève doit savoir établir la relation à l'équivalence.

D'autres exemples d'antiseptiques peuvent être donnés.

D'autres dosages d'oxydoréduction peuvent éventuellement être présentés.

BTS TECHNIQUES PHYSIQUE POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

TECHNIQUES DES MESURES

Le programme, pour chacune des matières, comporte un certain nombre de rubriques qui seront abordées sur l'ensemble des deux années. L'ordre dans lequel ces rubriques sont étudiées est laissé à l'initiative des professeurs qui tiendront compte, pour organiser leur progression, des projets personnels des étudiants.

On aura constamment à l'esprit la finalité professionnelle du diplôme; on évitera donc les développements mathématiques superflus et l'on privilégiera l'approche concrète, l'étude au laboratoire ou à partir de dispositifs industriels. Cette approche place l'étudiant en situation de recherche, développe son autonomie et permet au professeur de gagner un temps précieux. L'équipe enseignante recherchera toutes les occasions de convergences afin de limiter les redondances par des présentations concertées, de donner l'exemple du travail en commun dont on montre ainsi l'intérêt, et d'entraîner l'étudiant à la vision systémique.

La sécurité et l'environnement ne figurent pas explicitement dans le programme. Cependant, ces notions doivent être systématiquement introduites dans les enseignements dispensés et dans les activités des étudiants.

Il est superflu de reprendre systématiquement les prérequis; de rapides tests préalables doivent permettre aux étudiants de recenser leurs lacunes et de prendre les dispositions nécessaires pour les combler. Il n'y a pas lieu d'effectuer systématiquement l'étude théorique avant la mise en oeuvre d'un phénomène ou d'un appareil.

I. ELECTRICITE

1. CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE

L'enseignement dispensé sous cette rubrique doit permettre au titulaire du BTS Techniques physique pour l'Industrie et le Laboratoire de:

1. Mettre en oeuvre les composants de l'électronique analogique et numérique.
2. Concevoir et tester des montages réalisant les principales fonctions de l'électronique.
3. Mettre en oeuvre et tester des composants et des montages d'électronique de puissance, d'électrotechniques et d'asservissements.
4. Maîtriser les techniques usuelles de mesures électriques et d'acquisition.

2. PROGRAMME

L'étude théorique sera réduite au strict minimum. En revanche, on recherchera toutes les occasions de conduire l'étude au laboratoire, dans le cas des composants isolés ou,

préférentiellement, au sein de montages. Il n'y a pas lieu de revenir sur les connaissances et savoir-faire exigés des candidats au baccalauréat.

I.1. Circuits électriques.

Lois générales des réseaux linéaires, dans le cas des régimes continu, sinusoïdal permanent, alternatif non sinusoïdal, transitoire.

Etude énergétique.

Systèmes triphasés équilibrés.

I.2. Composants électroniques.

L'étude porte sur les composants de l'électronique et de l'électronique de puissance.

I.3. Electronique.

L'étude porte sur l'électronique analogique et sur l'électronique numérique. Elle a pour objectif la maîtrise des différentes fonctions mises en oeuvre dans les domaines de l'acquisition, du traitement et de la transmission des données, ainsi que dans celui du contrôle automatique de processus. Cette maîtrise comprend une connaissance des dispositifs réalisant ces fonctions.

Production de signaux.

Modulation-démodulation.

Amplification.

Filtrage.

Codage.

Conversions analogique/numérique et numérique/analogique.

I.4. Convertisseurs.

Convertisseurs statiques.

Convertisseurs électromécaniques.

I.5. Capteurs et régulation.

Capteurs. L'étude porte sur le principe de différents capteurs (température, pression, déplacement, débit, force, par exemple), sur la réalisation technologique et les conditions d'exploitation. Le laboratoire se prête bien à cette étude.

Régulation. Principe d'une boucle de régulation; aspects fonctionnel et technologique. Fonctions de transfert des système de réglage et des systèmes réglés. Méthodes d'identification du système réglé (Broïda et Stejc) et réglage du régulateur.

Architecture d'un système numérique de contrôle-commande.

II. MECANIQUE

1. CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE

Les connaissances et savoir-faire en mécanique doivent permettre au titulaire du BTS Techniques physique pour l'Industrie et le Laboratoire de:

1. Comprendre le principe de réalisation et de fonctionnement de dispositifs employés en analyse ou dans les technique du vide.
2. D'analyser ces dispositifs et proposer des solutions susceptibles de les améliorer.
3. D'analyser leurs éventuelles anomalies de fonctionnement et proposer des solutions propres à y remédier.
4. Maîtriser l'ensemble des techniques du vide: mesure des pressions, de débits, réalisation du vide, écoulement des fluides dans des canalisations, etc.

2. PROGRAMME.

II .1. Eléments de cinématique.

Cinématique du point.
Cinématique du solide.

II.2 . Dynamique du point matériel.

Quantité de mouvement, moment cinétique, énergie mécanique.
Lois de la dynamique.

Etude de quelques mouvements (on se place dans des situations concrètes, sans oublier d'envisager le cas de particules relativistes).

II.3 . Systèmes matériels.

Lois de conservation. (On donne quelques notions sur les chocs et développe l'effet Compton).

Dans le cas d'un solide : quantité de mouvement, moment cinétique, énergie cinétique. (On pourra s'intéresser à l'équilibrage d'un rotor, équilibrage statique et équilibrage dynamique; l'approche se fera de manière concrète, sans recours à un appareil mathématique important).

Contact de deux solides: frottements.

II.4 . Mécanique des fluides.

Statique:

la pression, sa mesure, théorème de pascal;
forces pressantes (on se limite à des cas simples)
capillarité.

Dynamique:

lois de l'écoulement;
mesure de débits
viscosité
éléments de dynamique des fluides compressibles.

III. OPTIQUE, OPTOELECTRONIQUE ET IMAGERIE.**1. CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE**

Les connaissances et savoir-faire en optique doivent permettre au titulaire du BTS Techniques physique pour l'Industrie et le Laboratoire de:

1. Faire l'étude analytique et mettre en oeuvre des appareillages optiques.
2. Choisir et mettre en oeuvre les matériels nécessaires à un montage: sources, composants, capteurs.
3. Maîtriser les techniques de mesures optiques, d'acquisition, de traitement des résultats.
4. Proposer des solutions pour améliorer un appareillage, une méthode.

2. Programme

On aura constamment présent à l'esprit le fait que l'optique ne se réduit pas au visible et qu'elle s'étend à l'ensemble des radiations électromagnétiques, aux ondes mécaniques, aux ondes de de Broglie. Le choix judicieux des exemples permettra d'en donner une illustration convaincante.

III .1.Sources et détecteurs.

Eléments de photométrie.

Emission de lumière:

- * par les corps portés à haute température, par les gaz et les vapeurs.
- * émission spontanée, émission stimulée.
- * sources lumineuses

Détecteurs de lumière:

- * oeil, émulsion;
- * photopile, photodiode, photorésistance;
- * photomultiplicateur, matrice CCD.

Colorimétrie:

- * synthèse des couleurs;
- * définition d'une couleur par ses coordonnées trichromatiques.

Une bonne part de l'étude des sources et détecteurs peut être menée au laboratoire et en liaison avec le cours d'électronique.

III .2 Optique géométrique.

Lois de l'optique géométrique

Formation des images: stigmatisme

Composants optiques: miroirs, dioptrés, lentilles

Systèmes centrés:

- * éléments cardinaux; à une étude générale et abstraite, on préférera une approche concrète, à partir d'un oculaire par exemple
- * existence des aberrations chromatiques et géométriques

III .3. Optique ondulatoire.

Propagation des ondes:

- * cohérence temporelle, cohérence spatiale
- * effet Doppler

Interférences.

Pour ces trois phénomènes on privilégiera la compréhension du principe, des performances et des limites des techniques, des méthodes, et des appareils qui les mettent en oeuvre, sans en rechercher l'analyse exhaustive.

Diffraction.

Polarisation.

III.4. Instrumentation.

Optique guidée:

- * fibres optiques;

- * caractéristiques d'une fibre;
- * senseurs à fibre.

Instruments d'optique: l'étude d'un exemple permet d'introduire les propriétés des instruments.

Spectrométrie

Holographie

Formation d'images par contraste de phase.

Notions d'analyse et de traitement d'images.

IV. THERMODYNAMIQUE ET THERMIQUE.**1. CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE.**

Les connaissances et savoir-faire en thermodynamique et thermique doivent permettre au titulaire du BTS Techniques physique pour l'Industrie et le Laboratoire de:

1. Faire l'étude analytique et mettre en oeuvre des appareillages dans les domaines de la thermique et du vide.
2. Choisir et mettre en oeuvre, en tenant compte des règles de sécurité, les matériels nécessaires à un montage: radiateurs, échangeurs, pompes à vide.
3. Maîtriser les techniques de mesure de pression et de température, les méthodes d'acquisition et de traitement des résultats, être capable de contrôler le vide, de détecter les fuites, de réaliser un dépôt en couche mince.
4. Proposer des solutions pour améliorer un appareillage, une méthode.

2. PROGRAMME.

Ce programme inclut celui de technique du vide qui sera, pour l'essentiel, étudié au laboratoire. L'approche des principes et notions doit être très concrète; elle peut être partiellement conduite au laboratoire au moyen d'une pompe à chaleur par exemple. On n'abusera pas des équations aux dérivées partielles et on aura recours aux diagrammes thermodynamiques aussi fréquemment que possible, afin que les étudiants les utilisent sans hésitation.

IV.1. Système thermodynamique.

Système et milieu extérieur.

Equilibre thermodynamique.

Variables d'état; équation d'état; fonction d'état.

Transferts de chaleur.

IV.2. Température.

Mesure des températures

Très basses températures

IV.3. Premier principe.

Chaleur et travail.

Premier principe.

Energie interne. Enthalpie.

IV.4. Les gaz parfaits.

Equation d'état des gaz parfaits.

Théorie cinétique des gaz.

IV.5. Second principe.

Entropie. Energie libre. Enthalpie libre.

Thermochimie. Cette partie du cours de thermodynamique porte sur les applications à la chimie: équilibre chimique, évolution d'un système. On s'attache à des exemples susceptibles d'illustrer le paragraphe MATERIAUX du cours de chimie.

IV.5. Equilibres physiques.

Changement d'état des corps purs

Relation de Clapeyron

Diagrammes thermodynamiques: TS et diagramme de Mollier

IV .7. Technique du vide.

Phénomènes physico-chimiques sous vide:

adsorption, absorption

décharges électriques dans les gaz.

Les pompes à vide.

Ecoulement des gaz.

Les mesures de pression.

Applications du vide et de l'ultravide.

PHYSIQUE : OBJECTIFS DE RÉNOVATION

La rénovation du programme de physique du brevet de technicien supérieur Chimiste a consisté à redonner une plus grande cohérence aux divers domaines étudiés.

Jusque là, l'ensemble était perçu comme disparate, très ou trop vaste. Il paraissait aussi sans application apparente, sans lien essentiel avec les priorités de la formation. Le programme n'était pas cadré par des commentaires circonstanciés limitatifs des contenus à traiter.

La redéfinition du programme de physique a été conçue pour le rendre plus motivant pour les étudiants du brevet de technicien supérieur Chimiste. Les cours, TD et TP ont été centrés sur les aspects de la physique qui éclairent les techniques de mesures et d'analyses aujourd'hui présentes ou en développement sur le terrain, tant dans les pratiques de laboratoires qu'en lien avec les procédés de fabrication.

La démarche retenue fait absolue nécessité d'enseigner la physique en liaison avec les préoccupations des autres champs disciplinaires (chimie générale, organique, génie chimique...). Dès lors, la physique apparaît clairement comme une discipline qui irrigue les autres champs disciplinaires, en contribuant à leur compréhension et à leur maîtrise.

La physique ne peut plus être une entité spécifique et autonome mais se doit d'être intégrée dans l'ensemble unique que constitue la formation du technicien chimiste.

Ainsi, les concepts de base ne doivent plus être abordés d'un strict point de vue théorique, mais être plus correctement assimilés grâce au lien direct avec les pratiques expérimentales.

Quelques idées force ont donc guidé la rédaction du programme.

- La recherche des concepts unificateurs.
- Le pointage des thèmes transversaux.
- La volonté de voir se développer pour nos étudiants la recherche de l'autonomie, l'esprit critique, l'adaptabilité, la méthodologie, les modes de raisonnements, ...

L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Le cours est recentré autour de six pôles de connaissances, ou unités. Les parties à traiter en première année sont ciblées et les commentaires de programme en précisent sans ambiguïté les limites.

En abordant les différentes unités, un choix délibéré a été fait et il consiste à simplifier les approches, jusque là souvent historiques, qui se déroulaient tels des menus immuables ou tels des contenus théoriques parachutés.

Le programme du brevet de technicien supérieur Chimiste ne sera en aucun cas celui d'une CPGE, même si, par certains aspects, il devra le dépasser. En effet, il ne vise pas prioritairement à préparer les étudiants à la poursuite d'études supérieures (même si cette possibilité n'est pas, a priori, à exclure). On se gardera donc de tout développement théorique superflu et sans utilité pour l'exercice futur de l'activité professionnelle, en lien avec le brevet de technicien supérieur Chimiste. La physique formelle, la physique désincarnée strictement modélisatrice, ne peuvent constituer l'angle d'attaque ou l'approche à privilégier pour les étudiants de cette section.

Les TD sont le support logistique privilégié pour traiter les exercices nombreux et variés, dont une proportion importante devrait être orientée vers les applications. Les outils classiques : tables numériques, abaques, bases de données (tels des livres de Constantes physiques et chimiques) et informatique doivent être systématiquement présents dans l'activité dirigée.

La physique est et doit rester expérimentale ; elle ne saurait être réduite à un mémento ou à un recueil de formules.

Les TP doivent donc être considérés comme l'apport fondamental qu'ils sont pour une bonne compréhension des phénomènes physiques. La méthodologie expérimentale, l'esprit critique et l'autonomie qu'elle induit sont au cœur de la démarche scientifique.

La rédaction des TP garde toute son importance ; la présentation des résultats est essentielle. C'est une façon de se préparer à la technique du compte rendu et du rapport de stage. La profession insiste d'ailleurs pour que la rédaction des cahiers de laboratoires soit "pratique courante" pour les titulaires du brevet de technicien supérieur Chimiste.

La liste des TP cités en annexe de ce programme n'est pas exhaustive ; elle a pour vocation et pour valeurs affichées d'être indicatrice et incitative.

Pour donner plus de sens aux concepts, leur côté utilitaire (sans le réduire à l'utilitarisme) sera développé en cernant les applications dont les approches sont porteuses. Cette "physique pratique" ne perd en rien ses qualités premières, ni essentielles, car elle reste :

- articulée sur une démarche expérimentale ;
- modélisée avec la rigueur qui s'impose ;
- concrétisée dans la pratique de laboratoire ou de contrôle industriel en lien avec la physico-chimie et le génie chimique.

Cette démarche devrait faciliter l'accès à une culture scientifique et technologique, plus large, plus exigeante, mais en rupture avec l'approche encyclopédique antérieure, nécessairement mal ressentie dans ses excès théoriques.

LES PRÉREQUIS

Les acquis à l'entrée d'une section de technicien supérieur ont été recensés avant l'élaboration de ce nouveau programme. Les contenus des enseignements des classes précédentes ont été pris en compte sans tomber dans l'illusion que tous les étudiants en ont la totale maîtrise.

LE CORPUS

Le programme de physique est articulé autour d'un certain nombre "d'entités" caractérisées par des contenus spécifiques internes de savoirs ou de savoir-faire.

E1 **Météorologie :**

- les grandeurs physiques et unités,
 - mesures et séries de mesures,
 - notions liées aux plans d'expérience.
- La partie électricité est volontairement allégée compte tenu des acquis en filière S ou CLPI. Les connaissances antérieures seront essentiellement ressourcées en TD et TP.
- La sécurité liée aux courants forts, à l'utilisation des machines tournantes (protection différentielle, terre - masse) sera abordée, là où c'est possible par un professeur de spécialité à l'occasion d'un passage en laboratoire d'électrotechnique, sinon par un intervenant extérieur compétent.
- Une méthode ne vaut que par l'interprétation critique des résultats de mesure qui en sera faite : la physique, quand elle est au service de cette démarche, permet au jeune technicien de justifier des données significatives, donc utilisables.

E 2 **Thermodynamique fondamentale (1^{er} et 2^{ème} principes)**

appliquée et illustrée pour les développements potentiels en chimie et en génie chimique.

E 3 **Les phénomènes d'interface.**

- Tension superficielle et interfaciale.
- Phénomènes électriques aux interfaces.

E 4 **Rhéologie.**

Les industriels signalent que la chimie actuelle s'oriente moins vers la fabrication de nouvelles molécules que vers la formulation de nouveaux produits par des mélanges de molécules existantes. Il semble donc utile de prévoir les développements nécessaires afin que l'étude des propriétés des solutions et des mécanismes de formation des mélanges contribue à la compréhension des techniques utilisées en formulation.

Si la chimie des produits tend aujourd'hui vers une chimie de fonctions d'usage, des professionnels souhaitent qu'elle soit reconnue comme une discipline en tant que telle. Cette discipline comporte donc inévitablement un volet "physique" puisque la formulation a aussi pour objet de définir des cocktails de produits aux propriétés physiques bien déterminées ou "encadrées" pour répondre à un cahier des charges spécifiques ou à des normes précises.

E 5 **Spectrométrie des particules.**

E 6 **Spectrométrie des rayonnements.**

Il ne pouvait être question d'étudier, dans une démarche de nature encyclopédique, chaque méthode d'analyse dans sa spécificité, mais de réaffirmer clairement que les principes sur lesquels reposent ces méthodes d'investigation sont à connaître.

Il ne peut être question de courir après une technologie toujours plus évolutive et prompte à essouffler ceux qui cherchent à la suivre. Si la maîtrise des techniques est fondamentale, le cours de physique n'a pas à dériver vers une "technologie d'appareillage" ni vers un cours de pure instrumentation ; chaque méthode ne peut être abordée dans toute sa complexité aussi complètement que pourrait le faire un chimiste dans l'étude d'une monographie.

Pour autant, il faut souligner la nécessité pour l'étudiant :

- de connaître les bases de la physique pour en comprendre le rôle fondamental dans les analyses chimiques ;
- de maîtriser le "ce sur quoi" reposent les méthodes d'analyses, ce qui est essentiel pour la compréhension de celles-ci ;
- d'être à même de justifier d'un domaine d'analyse et en conséquence de comparer les limites et les mérites de telle ou telle méthode dans une démarche expérimentale.

Les procédés complexes n'ont donc pas à être traités dans le détail.

- RMN.
- Fluorescence X.
- Torche à plasma (ICP)...

Ce qui n'exclut pas pour un étudiant, d'éprouver ces méthodes en stage d'entreprise.

De même, si les techniques du type IRFT deviennent prépondérantes aujourd'hui, (les étudiants ne peuvent ni ne doivent l'ignorer) il ne s'agit pas pour autant, et à cette seule fin, de mettre en oeuvre un cours de traitement du signal qui n'a pas sa place dans le programme d'une section de technicien supérieur Chimiste.

NB: certaines notions (énergie mécanique par exemple) ne figurent pas explicitement dans le programme. Le professeur les introduira «en situation», quand elles lui paraîtront nécessaires, par exemple pour l'énergie mécanique dans la partie 2.6 : «Échanges d'un système avec le milieu extérieur».

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>1. MÉTROLOGIE.</p> <p>1.1. Le système international d'unités et les unités usuelles.</p> <p>1.2. Equation aux dimensions et homogénéité d'une relation.</p> <p>1.3. Qualité d'une mesure :</p> <p>Erreurs systématiques, fidélité, justesse, précision. Résolution et sensibilité d'un appareil de mesure. Incertitudes sur le résultat : traitement statistique d'une série de mesures ; tendance centrale (moyenne, médiane) ; dispersion (écart-type, étendue) ; intervalle de confiance associé à un niveau de confiance. Cas d'un échantillon de petite taille : méthode de Student ; méthode de l'étendue.</p>	<p>Il ne faudrait pas oublier certaines unités hors système mais dont l'usage reste fréquent (anglo-saxonnes comme le psi ou le cm^{-1} en spectrophotométrie par exemple). Il convient désormais de privilégier l'utilisation des multiples et des sous-multiples par fraction de mille (M, k, m, μ, etc...).</p> <p>But à atteindre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - faire comprendre qu'une relation sera exacte (à un coefficient numérique près, s'il y a lieu) dès que les termes de part et d'autre du signe égal s'expriment dans la même unité ; exemple: $\lambda = c \times T$ est peut être exacte tandis que $\lambda = c/T$ est, à coup sûr, fausse ! <p>But :</p> <ul style="list-style-type: none"> - être "raisonnable" et crédible dans l'écriture d'un résultat, en particulier sur le nombre de chiffres significatifs lié aux incertitudes. 	<p>Utilisation de ces notions à partir de mesures simples et directes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exemple : mesures de longueurs, de masses, de densités et de masses volumiques. - Des mesures d'activité d'échantillons radioactifs peuvent fournir des données numériques nombreuses pour les exercices et permettre notamment d'extraire des échantillons d'environ 10 % de la population pour étudier leur représentativité.

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>1.4. Notion de contrôle de qualité. La norme ISO 9000.</p> <p>1.5. Rappels et généralités sur les régimes électriques continus.</p> <p>Conducteurs (métaux, électrolytes, semi-conducteurs...), nature des porteurs de charges. Tension et intensité d'un courant. Dipôles linéaires : résistances (effet Joule, loi d'Ohm, lois d'association), générateurs de tension, pile (modèle équivalent de Thévenin : f.e.m., résistance interne). Point de fonctionnement. L'A.O. en amplificateur.</p> <p>1.6. Recherche d'une relation entre deux grandeurs.</p> <p>Linéarisation par changement de repère, régressions linéaires ou autres, extrapolation et interpolation.</p>	<p>L'intervention d'un spécialiste de ces questions dans l'industrie chimique ou dans un organisme agréé semble nécessaire.</p> <p>Il s'agit de rappels de notions acquises dans les classes antérieures. Cette partie du programme doit s'appuyer sur l'intérêt que présente l'électrocinétique en ce qui concerne les capteurs.</p> <p>On insistera sur l'importance d'obtenir un coefficient de corrélation élevé (0,999) pour garantir la validité d'une relation.</p>	<p>- Multimètre - Montages conditionneurs: en pont ; alimentation en courant continu. - Amplification en tension. - On s'efforcera de présenter un modèle des appareils industriels alimentés en 24 V et débitant un courant entre 4 et 20 mA.</p> <p>- A titre indicatif, l'étalonnage d'un capteur à thermistance permet d'illustrer les points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • incertitudes de fidélité ; courbe d'étalonnage R en fonction de la température $t(^{\circ}\text{C})$; recherche de la loi $R = f(T(\text{K}))$ par changement de variables et régression linéaire ou directement, • temps de réponse du capteur à un échelon de température ; recherche de la relation $t(^{\circ}\text{C}) = f(\theta(\text{s}))$, • mise en équation différentielle et intégration pour constater que le système est du premier ordre. <p>Ce TP permet une initiation au fonctionnement d'un tableur.</p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2. THERMODYNAMIQUE.</p> <p>2.1. Pression dans un fluide.</p> <p>2.2. Température.</p> <p>Echelles de températures à 1 ou 2 points fixes. Echelle Celsius, échelle absolue. Echelles pratiques.</p>	<p>On se contentera d'une définition macroscopique du fluide et d'une approche qualitative de la notion de pression en veillant particulièrement à éviter la confusion entre les effets de la pression et ceux d'un champ agissant à distance, en particulier le champ de pesanteur.</p> <p>Le but est d'arriver aux relations :</p> $\frac{dp}{dz} = -\rho \cdot g \text{ et } p = \frac{dF}{dS}$ <p>Il ne s'agit ici que d'une approche simple de la notion de température, sa définition exacte ne pouvant être donnée - éventuellement - que plus tard.</p> <p>Le passage de l'échelle Celsius à l'échelle absolue sera présenté, à ce niveau du cours, simplement par un changement d'origine lié à l'existence d'un zéro fondamental situé 273,15 degrés plus bas que la température d'équilibre solide-liquide de l'eau sous la pression normale.</p> <p>Les échelles pratiques (utilisant le thermomètre à résistance de platine, le thermocouple Pt Rh 10% / Pt et le rayonnement du corps noir) seront simplement présentées sans développement théorique.</p> <p>Aucun exercice portant sur les écarts entre les échelles légales et les "échelles thermométriques" ne pourra être posé à l'examen.</p>	<p>- Etalonnage d'un capteur de pression.</p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.3. Thermomètres.</p> <p>Thermomètres à dilatation de liquides : leurs limites, leurs défauts.</p> <p>Thermomètres électriques à résistance (de platine ou à semi-conducteur).</p> <p>Thermocouples.</p> <p><i>Pyromètres</i> : Constatation expérimentale d'une relation entre la température d'un corps et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'une part l'énergie totale qu'il émet, - d'autre part la répartition spectrale des radiations émises, ce qui conduit à deux types de pyromètres (à rayonnement total et à rayonnement monochromatique). 	<p>Il paraît impossible d'oublier le thermomètre à dilatation de liquide qui fournit, de plus, une occasion de mettre en évidence la notion de sensibilité d'un appareil. Tout calcul de correction de température, de quelque sorte soit-elle, est totalement hors programme.</p> <p>Pour les thermomètres électriques, on se limitera à faire comprendre le principe de fonctionnement de ces appareils et des montages conditionneurs (pont de mesure ou alimentation à courant constant) utilisés pour un obtenir un signal de sortie qui soit une tension ou une intensité (entrée d'un traceur ou d'un système informatisé). Les travaux pratiques ainsi que de nombreux exercices illustreront ces méthodes.</p> <p>Pour les pyromètres, il s'agit uniquement de faire connaître leur existence et leur domaine d'utilisation. On veillera à rester très proche de l'expérience. On se fondera sur les courbes de la luminance énergétique du corps noir en fonction de la longueur d'onde à différentes températures. Les lois de Wien, Stéfan et Planck peuvent être données sans aucun calcul.</p>	<p>- Etalonnage d'un capteur de température à thermistance : incertitude de fidélité ; courbe d'étalonnage $R = f(\theta^\circ \text{C})$; recherche de la loi $R = f(T(\text{K}))$.</p> <p>- Etalonnage d'un thermomètre à résistance de platine.</p> <p>- Etalonnage d'un couple thermoélectrique (thermocouple).</p> <p><i>Des saisies de données informatisées peuvent avantageusement être utilisées.</i></p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.4. Thermodynamique : son universalité.</p> <p>Définition du système thermodynamique et du milieu extérieur : systèmes fermé, ouvert, isolé. Etat du système, paramètres d'état, équation d'état.</p> <p>Variables extensives et intensives. Transformations du système : isobare, isochore, isotherme, adiabatique.</p> <p>Echanges entre le système et le milieu extérieur : travail, chaleur, matière.</p> <p>Conventions de signe.</p>	<p>Il s'agit de donner avec rigueur et précision les définitions indispensables.</p> <p>L'étude des systèmes ouverts n'est pas au programme et ne doit pas donner lieu à de plus amples développements que sa définition, voire son application à l'étude de la détente de Joule-Thomson.</p> <p>On pourra signaler que l'équilibre thermodynamique est lié à l'homogénéité des variables intensives.</p> <p>Pour l'écriture des grandeurs extensives, l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (UIPPA) recommande de les représenter par une lettre majuscule (V en m^3) <i>en italiques pour la typographie</i>, les grandeurs intensives massiques par une lettre minuscule (<i>italique</i>) (v pour le volume massique en $m^3.kg^{-1}$, s pour l'entropie massique en $J.K^{-1}.kg^{-1}$) et les grandeurs intensives molaires par la majuscule affectée de l'indice m ($V_m = 22,414 L.mol^{-1}$ dans les conditions normales).</p> <p>Le travail et la chaleur seront notamment présentés comme des grandeurs d'échange qui n'existent que pendant la durée de la transformation, alors que les différentes formes d'énergie sont des grandeurs permanentes.</p> <p>La convention de signe est : "Quantité positive si reçue par le système, négative si cédée par le système au milieu extérieur" ... même si certains auteurs anglo-saxons en emploient une autre.</p>	

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.5. Premier principe de la thermodynamique : son caractère de conservation.</p> <p>Enoncé. Existence d'une fonction d'état : l'énergie totale du système.</p> <p>Cas où l'énergie potentielle et l'énergie cinétique sont constantes : énergie interne du système.</p> <p>Transformations particulières :</p> <ul style="list-style-type: none"> - à volume constant ne mettant pas en jeu d'autre forme d'énergie que mécanique : $Q_v = \Delta U$, - sous pression constante ne mettant pas en jeu d'autre forme d'énergie que mécanique : intérêt de fabriquer la fonction d'état $U + pV$ appelée enthalpie pour avoir $Q_p = \Delta H$. 	<p>Le premier principe postule l'existence d'une grandeur caractéristique du système qui ne varie pas lors d'une transformation fermée (cyclique) qui est l'énergie totale du système. Ce n'est que si les deux formes d'énergie cinétique et potentielle peuvent être considérées comme constantes que la variation d'énergie totale se réduit à la variation d'énergie interne ΔU. Cette précaution est nécessaire si l'on veut éviter des ennuis dans l'étude des fluides compressibles.</p> <p>Il faut noter aussi que dans l'expression $\Delta U = W + Q$, W représente la totalité du travail échangé avec le milieu extérieur. Si, pour nous, ce travail est toujours sous forme mécanique, il peut, pour les chimistes, se présenter sous forme électrique par exemple.</p> <p>En accord avec le professeur de chimie générale, il sera possible d'aborder et/ou de traiter les chaleurs de réaction et leur variation avec la température.</p> <p>Les propriétés des fonctions d'état seront admises sans faire appel au formalisme mathématique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - extensivité ; - principe de l'état initial et de l'état final, conséquence pour les transformations cycliques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Enthalpie d'une réaction acide-base. - Enthalpie de combustion (calorimètre de Junkers) - Enthalpie de transition : <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right;">Na_2SO_4 <li style="text-align: center;">$\text{Na}_2\text{SO}_4, 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \quad +$ <li style="text-align: right;">$10\text{H}_2\text{O}$ - Energie interne de réaction à volume constant (bombe calorimétrique). - $\Delta H = f(\theta)$: enthalpie de dissolution de l'acide benzoïque.

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.6. Calorimétrie.</p> <p>Capacité thermique (notée C) d'un système (simple ou composé), capacité thermique massique (notée c) et molaire (notée C_m) d'un corps pur monphasé. Chaleurs latentes massiques et molaires de changement de phase. Méthodes calorimétriques électriques de comparaison et de compensation.</p> <p>2.7. Gaz réels.</p> <p>Courbes isothermes. Point critique.</p> <p>2.8. Le modèle du gaz parfait.</p> <p>Le gaz parfait comme limite des gaz réels quand la pression tend vers zéro. Equation d'état. Coefficients thermoélastiques α, β et χ. Masse volumique et densité d'un gaz supposé parfait. Mélange de gaz parfaits ; pressions partielles, fractions molaires.</p>	<p>Pour les notations, on s'efforcera de respecter les recommandations de l'U.I.P.P.A. (cf. 2.4.) en plaçant en dernier l'unité qui rend la grandeur intensive. Ainsi, l'unité de capacité thermique massique est le $J.K^{-1}.kg^{-1}$.</p> <p>On restera essentiellement qualitatif (descriptif). On pourra donner des exemples d'équations d'état (Van der Waals, Beattie-Bridgeman, ...) ou l'équation du viriel mais on se gardera de tout développement tel que le calcul des coefficients a et b de l'équation de Van der Waals à partir des coordonnées du point critique.</p> <p>La variation de la densité gazeuse au cours d'une réaction chimique en phase gazeuse s'accompagnant d'un changement de la quantité de matière est utilisée en chimie (étude des équilibres). On insistera sur les termes de pression partielle et de fraction molaire en évitant de parler de "proportion en volume", chacun des constituants du mélange occupant à l'évidence la totalité du volume.</p>	<p>- Capacité thermique massique d'un solide ou d'un liquide (pour ce dernier, la méthode de chauffage en régime permanent est toute indiquée). - Enthalpie de changement d'état.</p> <p>- Tracé du réseau des isothermes d'un gaz facilement liquéfiable.</p> <p>- Variation de la pression d'un certain volume d'air avec la température. Détermination de β.</p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.9. Etude énergétique des gaz considérés comme parfaits.</p> <p>Lois de Joule et de Joule-Thomson. Capacité thermique massique et molaire ; relation de Mayer. Transformations isochore, isobare, isotherme, adiabatique réelle (appelée ensuite polytropique). Écoulement en régime permanent. Refroidissement par détente.</p> <p>Cycle de Carnot d'un gaz parfait ; rendement théorique d'un cycle réversible.</p>	<p>On s'efforcera de mettre l'accent sur les transformations réelles traduites par une relation $p \cdot V^\alpha = cte$ avec $1 < \alpha < \gamma$. On constate, en effet, que ces transformations se placent, dans un diagramme de Clapeyron, entre les transformations réversibles isothermes (infiniment lentes avec $p \cdot V^1 = cte$) et adiabatiques (instantanées avec $p \cdot V^\gamma = cte$). On fera remarquer que, pour une transformation donnée, l'exposant α dépend des conditions d'échange thermique avec l'extérieur et change donc de valeur avec ces conditions. De même, on insistera sur l'importance de la fonction enthalpie dans les évolutions avec écoulement en régime permanent.</p> <p>Pour le cycle de Carnot, on insistera sur son importance théorique même s'il est impossible de le réaliser.</p>	<p>- Mesure de γ par la méthode de Clément & Desormes et par la mesure de la vitesse de propagation du son.</p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.10.A Le deuxième principe : son caractère non conservatif (création d'entropie).</p> <p>Transformations réversibles et irréversibles. Énoncé du second principe : définition de l'entropie. Exemples simples de variation de l'entropie dans les phénomènes spontanés. Définition des fonctions énergie libre et enthalpie libre.</p> <p>2.10.B Le troisième principe.</p> <p>Définition, entropie d'un corps pur au zéro K, postulat de Nernst, calcul des entropies absolues, utilités et usages des tables de données thermodynamiques.</p>	<p>Si le premier principe est un principe qui permet de faire un bilan d'énergie, le deuxième principe permet d'expliquer l'évolution d'un système vers l'état final observé. La variation d'entropie d'un système au cours d'une transformation est la somme de deux termes d'échange : l'entropie échangée et l'entropie créée qui donne au second principe son caractère non conservatif. Pour des raisons d'uniformisation avec les notations des chimistes, on s'efforcera de noter S_e l'échange d'entropie avec le milieu extérieur et S_i l'entropie créée à l'intérieur du système. On écrira donc $\Delta S = S_e + S_i$ ou $dS = \delta S_e + \delta S_i$. Même si les évolutions réversibles sont des cas idéaux inobservables, elles sont incontournables pour évaluer la variation de la fonction d'état entropie entre l'état initial et l'état final d'une transformation. A ce titre, on remarquera que dans l'expression : $\delta S_e = \delta Q/T$, la température est celle prise à la frontière du système. D'où l'importance de la notion de source de chaleur (thermostat à la température T).</p>	

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>2.11. Changements de phase des corps purs : étude générale.</p> <p>Règle des phases. Diagramme d'équilibre : point triple, domaines de stabilité des phases. Relation de Clapeyron. Retard aux changements de phase. Tables d'entropie et d'enthalpie des corps purs. Diagrammes d'état : courbes $\ln p(h)$, $s(T)$, $h(s)$.</p>	<p>L'étude sera essentiellement expérimentale.</p> <p>La démonstration de la relation de Clapeyron est hors programme.</p> <p>Les exercices donneront l'occasion de montrer qu'un même problème peut être résolu soit par des calculs, soit par l'utilisation des tables, soit au moyen de diagrammes. On insistera sur : - la distinction entre les différents domaines d'existence des phases, - la méthode de placement du point représentatif d'un état sur un diagramme, - les différentes courbes représentant chaque transformation (isentropique, isenthalpique, isobare, isotitre (à teneur en vapeur constante), etc...).</p> <p>On donnera évidemment une importance particulière à l'équilibre liquide-vapeur de l'eau.</p>	<p>- Etude expérimentale de l'équilibre liquide - vapeur de l'eau.</p>
<p>2.12. Machines et moteurs thermiques.</p> <p>Théorème de Carnot.</p> <p>Moteurs thermiques ; efficacité idéale théorique.</p> <p>Machines frigorifiques ; efficacité théorique.</p> <p>Pompes à chaleur ; efficacité théorique.</p>	<p>Le cycle théorique de Carnot permet de calculer la limite supérieure de l'efficacité (efficacité idéale) mais ne peut être réalisé.</p> <p>Les machines thermiques fonctionnant en régime d'écoulement continu, la fonction thermodynamique utile est l'enthalpie.</p>	<p>- Etude d'une pompe à chaleur.</p>

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>3 - PHENOMENES D'INTERFACE.</p> <p>3.1. Interface liquide pur-gaz.</p> <p>Mise en évidence expérimentale (lames liquides, gouttes, ménisques, ascension capillaire, etc...).</p> <p>Origine des phénomènes : interactions de type Van der Waals ; leur rayon d'action.</p> <p>Définitions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • tension superficielle, • énergie libre de surface. <p>Influence de la pression et de la température.</p> <p>Propriétés des interfaces courbes. Équation de Laplace dans le cas d'une structure sphérique.</p> <p>3.2. Interface liquide-solide.</p> <p>Phénomène de mouillage : angle de raccordement, condition de Young.</p> <p>Ascension capillaire : loi de Jurin.</p>	<p>On évitera tout développement théorique.</p> <p>On distinguera les phénomènes dus aux interfaces fluide-fluide (gouttes, bulles, films) de ceux liés à l'interface solide-liquide (ménisques, ascension capillaire).</p> <p>On ne manquera pas de remarquer que la sphère est la forme géométrique qui minimise la surface.</p> <p>La résultante des forces de Van der Waals appliquée à une molécule de la surface n'est pas nulle et est orientée vers l'intérieur du liquide.</p> <p>Il ne faut pas perdre de vue que la tension superficielle σ est relative à un interface : par abus de langage, on parle de tension superficielle de l'eau alors qu'il faudrait évoquer la tension superficielle de l'interface eau-air.</p> <p>L'énergie libre de surface ($F = \sigma S$) permet de justifier qu'un équilibre est atteint quand la surface devient minimale.</p>	

PROGRAMME PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>3.3. Tension superficielle des solutions aqueuses.</p> <p>Composés tensioactifs : structure moléculaire. Répartition en surface du tensioactif. Loi de Szyskowski. Isotherme de Gibbs.</p> <p>3.4. Méthodes de mesure des tensions superficielles et interfaciales.</p> <p>Utilisant l'ascension capillaire et/ou capillaire horizontal. Méthodes d'arrachement. Méthodes des gouttes tombantes (loi approchée de Tate). Méthode de la goutte sessile. Méthode de la pression de bulle maximale.</p> <p>3.5. Phénomènes électriques aux interfaces.</p> <p>Potentiels entre phases : de Galvani, de Volta et de surface. Double couche électrique : potentiel de distribution (d'électrodes, de membranes, entre liquides non miscibles) ; potentiel d'adsorption. Phénomènes électrocinétiques : électro-osmose ; potentiel d'écoulement ; électrophorèse.</p>	<p>Il s'agit d'une sensibilisation aux phénomènes. (2 heures maximum)</p>	<p>- Tension superficielle des solutions aqueuses de corps tensioactifs. Isotherme de Gibbs.</p> <p>- Méthodes de mesure de tension superficielle.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ascension capillaire. • Stalagmométrie (dosage eau - éthanol). • Tensiomètre à lame ou à anneau. • Pression de bulles et goutte sessile si les moyens matériels le permettent.

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>4 - VISCOSITE DES FLUIDES : INTRODUCTION A LA RHEOLOGIE.</p> <p>4.1. Notions de rhéologie.</p> <p>Contrainte de cisaillement, déformation et vitesse de cisaillement. Définition d'un rhéogramme : courbe de la vitesse de cisaillement en fonction de la contrainte de cisaillement.</p> <p>4.2. Définitions des coefficients de viscosité.</p> <p>Viscosité dynamique η, viscosité cinématique ν, viscosité relative μ_{rel}, viscosité spécifique μ_{sp}, viscosité intrinsèque $[\mu]$. Unités légales et industrielles. Distinction entre fluides newtoniens et non newtoniens.</p> <p>4.3. Influence de différents paramètres sur la viscosité.</p> <p>Température, pression, nature chimique.</p> <p>Viscosité des solutions et des suspensions : influence du solvant, de la concentration, de la taille et de la forme des particules. Influence de la masse moléculaire pour les solutions de polymères.</p>	<p>L'introduction peut s'appuyer sur un mouvement laminaire plan de cisaillement.</p> <p>C'est essentiellement la viscosité dynamique qui sera utilisée.</p> <p>Cette distinction peut être faite à partir de l'interprétation graphique de la viscosité dynamique sur un rhéogramme.</p> <p>L'influence du temps sera étudiée au paragraphe 4.4. L'influence de la température ne satisfait à aucune théorie et ne fait donc appel qu'à des modèles empiriques.</p> <p>Importance des viscosités relatives et intrinsèques.</p>	<p>- Variation de la viscosité de l'eau avec la température (viscosimètre à capillaire). - Viscosité d'une solution en fonction des concentrations. - Mesure du degré de polymérisation d'une macromolécule de synthèse.</p>

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>4.4. Comportement rhéologique et classification des fluides.</p> <p>Fluides au comportement indépendant du temps :</p> <ul style="list-style-type: none"> - newtoniens ; - fluidifiants (pseudoplastiques) ou épaississants: lois de puissance ; - plastiques : seuil d'écoulement. <p>Fluides au comportement dépendant du temps :</p> <ul style="list-style-type: none"> - thixotropes : rhéogramme à hystérésis. <p>4.5. Méthodes de mesure de viscosité.</p> <p>Viscosimètre plan-plan et/ou cône-plan.</p> <p>Viscosimètre capillaire : répartition des vitesses dans un écoulement laminaire ; loi de Poiseuille.</p> <p>Viscosimètre à chute de bille.</p> <p>Viscosimètre rotatif.</p>	<p>Il s'agit d'aborder la description du comportement d'un fluide à partir des exemples.</p> <p>L'étude des modèles rhéologiques est hors programme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Etude de quelques fluides à l'aide d'un viscosimètre rotatif (plan-plan, cône-plan, à cylindres coaxiaux). Tracé de rhéogrammes. Fluides newtoniens, fluidisants, plastiques. - Influence du temps : pâtes thixotropes (yaourts, dentifrices, ...)

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>5. SPECTROMÉTRIE DES PARTICULES.</p> <p>5.1. Champ et potentiel électrique.</p> <p>Lignes de champ ; surfaces équipotentielles. Champ uniforme. Action d'un champ électrique sur une particule électrisée au repos ou en mouvement: accélération d'une particule dans un spectrographe de masse ; déviation électrostatique. Dipôles électriques: - application aux atomes ; polarisabilité électronique ; - application aux molécules ; moment dipolaire, hydratation des ions.</p> <p>5.2. Champ magnétique.</p> <p>Rappel : champ magnétique créé par un solénoïde suffisamment long ou par des bobines d'Helmholtz. Action d'un champ magnétique sur une particule électrisée en mouvement dans le vide et dans un milieu matériel (effet Hall). Production d'un faisceau monocinétique de porteurs de charges. Application aux spectrographes de masse.</p>	<p>C'est l'occasion de revoir la cinématique et la dynamique. Le théorème de Gauss est hors programme, tout comme les calculs de capacité de condensateurs. On donnera les formules sans démonstration. La loi de Coulomb peut être évoquée mais ne pourra pas faire l'objet d'une question à l'examen. On restera à un niveau qualitatif (descriptif).</p> <p>Le théorème d'Ampère et la force de Laplace sont hors programme.</p>	<p>- Expérience de Millikan.</p> <p>- Mesure du quotient q/m pour un électron.</p> <p>- Mesure de champs magnétiques (utilisation de teslamètre).</p>

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>5.3. Milieux aimantés.</p> <p>Notions sur le diamagnétisme, le paramagnétisme, le ferromagnétisme. Matériaux magnétiques, température de Curie. Production de champs magnétiques.</p> <p>5.4. Transformations radioactives.</p> <p>Emission de particules α, de particules β^-, de particules β^+, de photons γ ; capture électronique. Production de radioéléments artificiels. Niveaux d'énergie dans le noyau ; énergie de liaison par nucléon. Fission ; fusion. Interactions des rayonnements avec la matière. Atténuation des γ et des X : relation $\Phi = \Phi_0 e^{-\mu x}$. Couche de demi-atténuation. Effets biologiques de l'exposition aux rayonnements: grandeurs caractéristiques: dose absorbée ; débit de dose ; équivalent de dose et leurs unités. Protection contre l'exposition ; parcours moyen d'un ensemble de particules. Récepteurs : compteur de particules.</p>	<p>Il s'agit essentiellement de décrire la production d'un champ magnétique pour un spectromètre de R.M.N..</p> <p>Les mécanismes des différentes transformations seront étudiés. On n'oubliera pas d'évoquer la nécessité de l'existence du neutrino et de l'antineutrino, ni de discuter les spectres d'énergie. L'émission de photons γ sera interprétée comme résultant de la désexcitation du noyau fils. L'énergie de liaison sera comptée négativement.</p> <p>Le but est de donner une information précise sur les risques encourus et en même temps de les démystifier. On insistera sur le fait que l'irradiation externe ne présente pas de danger, sauf accident majeur, mais que le risque important est celui de la contamination interne par voie respiratoire ou digestive. On donnera les doses légales autorisées ; et les ordres de grandeur de dose absorbée dans des situations particulières (irradiation d'origine naturelle et humaine) ainsi que les effets observés en fonction de la dose reçue.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Détection α, β, γ. - Comptage, échantillonnage. - Absorption. - Etude d'une transmutation avec un générateur de neutrons là où l'équivalent existe.

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
6. SPECTROMÉTRIE DES RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.		
<p>6.1. Généralités sur les ondes.</p> <p>Double périodicité. Ondes transversales et longitudinales. Principe de superposition (amplitudes faibles). Réflexion, réfraction. Interférences. Diffraction.</p> <p>6.2. Nature ondulatoire de la lumière.</p> <p>Interférences. Expériences de diffraction à l'infini par une fente rectangulaire. Vue d'ensemble du spectre électromagnétique.</p> <p>Diffusion Rayleigh.</p> <p>Polarisation rectiligne de la lumière : loi de Malus ; pouvoir rotatoire de certaines substances.</p>	<p>Cette partie du cours sera présentée au moyen de la cuve à ondes.</p> <p>Cette partie sera traitée sous forme de TP-cours. L'ordre de présentation des interférences et de la diffraction est laissé libre. L'important est la mise en évidence de la relation entre la largeur de la tache centrale de diffraction et la largeur de la fente. Il faut donc montrer l'existence des minima d'éclairement et repérer leurs positions. Cette partie doit rester essentiellement qualitative.</p>	<p>- Polarimètre de Laurent.</p>
<p>6.3. Etude des sources de radiations électromagnétiques.</p> <p>De l'ampoule à incandescence au tube de Crookes en passant par le laser.</p> <p>Photométrie : flux, éclairement.</p>	<p>Lampe à incandescence (spectre continu). Lampes spectrales : spectre discontinu. Laser : mécanisme de l'émission, cavité résonante, cohérences. On se limitera aux définitions pour des rayonnements quasi monochromatiques.</p>	

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>6.4. Approximation de l'optique géométrique.</p> <p>Réflexion.</p> <p>Réfraction, réfraction limite, réflexion totale.</p> <p>Lentilles minces convergentes dans les conditions de Gauss.</p>	<p>Réflexion : on tiendra compte du fait que dans certains spectroscopes la marche des rayons est assurée par des miroirs à symétrie sphérique (mais tout développement sur le mode de fonctionnement est banni).</p> <p>Réfraction : on n'oubliera pas d'évoquer le principe de fonctionnement des réfractomètres, ni celui des fibres optiques</p> <p>Lentilles : leur seul rôle en spectroscopie est de donner dans le plan du spectre des images différentes (raies) d'une même fente d'entrée. La relation intéressante est donc $dx \approx f \cdot d\alpha$.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Etude expérimentale des lentilles (pas de focométrie). - Principe du collimateur. - Principe de la lunette de visée.
<p>6.5. Systèmes dispersifs à réseau.</p> <p>Différences avec les appareils à transformée de Fourier.</p> <p>Diffraction des rayons X par les cristaux.</p>	<p>Le prisme sera vu exclusivement en TP en raison de son intérêt historique et pédagogique.</p> <p>Pour le réseau, on se limitera aux conditions d'utilisation classiques ($i=0$; $D_m=0$; spectre normal). Aucune démonstration de formule ne sera demandé à l'examen. Aucune formule ni aucun sens d'orientation ne sera imposé à l'examen.</p> <p>Tout schéma devra avoir une orientation explicitée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Etude du prisme et du réseau en lumière monochromatique. - Etude du prisme et du réseau en lumière polychromatique.
<p>6.6. Capteurs de lumière.</p> <p>Cellule photovoltaïque.</p> <p>Photomultiplicateurs (il est évident qu'il faudra parler de la cellule photoélectrique).</p> <p>Capteur CCD.</p> <p>Photodiode.</p> <p>Photorésistor.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre de capteurs.

PROGRAMME DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES	PROPOSITION DE TRAVAUX PRATIQUES
<p>6.7. Méthodes spectroscopiques.</p> <p>6.7.1. Spectroscopie I.R.. Notions sur la théorie classique et quantique des vibrations dans l'IR ; spectres de raies et spectres de bandes ; principe des spectromètres IR. Spectroscopie Raman.</p> <p>6.7.2. Spectroscopie d'absorption U.V. et visible. Loi de Beer-Lambert ; spectres électroniques ; principe des spectromètres.</p> <p>6.7.3. Spectroscopie et fluorescence X. Principe d'obtention d'un spectre X.</p> <p>6.7.4. R.M.N.. Principe ; interaction spin/champ ; noyaux étudiés en RMN ; noyau $s=1/2$; fréquence de Larmor ; déplacement chimique ; les deux catégories d'appareils.</p>	<p>On s'intéresse aux phénomènes physiques plus qu'au dépouillement des spectres.</p> <p>Cette source d'information est complémentaires de l'infrarouge sur la structure des molécules. On veillera à bien définir le flux d'énergie lumineuse et de définir la transmittance et l'absorbance à l'aide des flux lumineux et non des intensités lumineuses.</p>	<p>- Utilisations de spectromètres. L'aspect «physique» sera prépondérant : exemples ; influence de la largeur de la fente, influence de l'amplification dans la résolution d'un spectre.</p>

CHIMIE : OBJECTIFS DE FORMATION

L'enseignement de la Chimie dans les classes de technicien supérieur Chimiste s'inscrit dans la continuité de l'esprit des programmes du baccalauréat STL Chimie, spécialité chimie de laboratoire et de procédés industriels.

Il a vocation à apporter les connaissances indispensables à la formation générale et professionnelle du futur technicien supérieur opérant en laboratoire ou en fabrication. Dans un monde en évolution rapide où une somme énorme de connaissances est disponible, l'enseignement dispensé par le professeur doit éveiller la curiosité, promouvoir le sens de l'observation et développer chez l'étudiant le goût de l'expérience et du concret.

La formation dispensée au cours des deux années de préparation doit, dans une approche équilibrée entre théorie et expérience, apporter à l'étudiant les outils conceptuels et méthodologiques qui lui permettent de comprendre le monde professionnel qui l'entoure et lui donner une grande faculté d'adaptation aux évolutions techniques et industrielles. L'approche transversale des problèmes est favorable à la créativité dans toutes les disciplines et c'est la démarche normale en recherche.

L'objectif essentiel est que l'étudiant devienne progressivement acteur de sa propre formation.

La méthode scientifique utilisée empreinte de rigueur et de sens critique doit permettre à l'étudiant :

- de réaliser avec rigueur et objectivité des mesures de laboratoire en prenant en compte la dimension Sécurité pour les personnels et les installations ;
- de prendre la mesure des risques toxicologiques, écotoxicologiques et des impacts environnementaux ;
- d'organiser son travail en mettant en œuvre la méthode des plans d'expérience ;
- de communiquer l'ensemble des résultats sous forme claire, concise, tant à l'écrit qu'à l'oral ;
- d'analyser la pertinence des données et résultats, ordre de grandeur, précision, contrôle de qualité par des méthodes statistiques évoluées.

PROGRAMME

L'enseignement de la chimie est structuré en trois grandes parties : chimie générale, chimie inorganique et chimie organique. Son contenu est un socle indispensable et incontournable pour la formation du technicien supérieur Chimiste.

Il porte sur la structure de la matière, la thermodynamique, la cinétique des systèmes, l'étude des composés de la chimie minérale et organique. Il s'agit d'une approche théorique et d'une ouverture sur le monde qui nous entoure.

L'étude des matériaux est abordée mais distribuée dans chacun des grands domaines de la chimie : matériaux organiques, matériaux inorganiques. Les propriétés comportementales sont étudiées en physique (rhéologie, tribologie, etc...) et en génie chimique (formulation, conditionnement, etc...).

MÉTHODES ET MOYENS

L'utilisation de l'ordinateur, en travaux pratiques, dans le champ des disciplines professionnelles pour l'acquisition et le traitement des données sera développée.

L'outil informatique pourra aussi être utilisé pour des simulations dans le cas où des situations se prêtent mal à une expérience personnelle. Selon les circonstances il pourra être fait appel aux divers services offerts par l'appareil et notamment à ceux rendus par les logiciels traitant de problèmes scientifiques, par des logiciels de calcul formel et de représentation graphique ainsi que par des logiciels généraux.

Pour l'enseignement dispensé en travaux pratiques, on ne donne pas une listes de séquences à réaliser impérativement, mais une liste de méthodes et de thèmes : thèmes de synthèses en chimie organique , thèmes de dosages en chimie inorganique.

L'étudiant, à l'issue de sa formation, devra savoir utiliser des matériels dont la liste est précisée.

L'organisation du programme de chimie organique doit permettre aux étudiants, à la fin du cycle de préparation, d'envisager de manière autonome et transversale la stratégie de synthèse.

La rédaction du programme est soigneusement commentée, mais ne préjuge en rien de l'ordre de présentation pour lequel le professeur garde toute latitude pédagogique.

CHIMIE GÉNÉRALE ET INORGANIQUE :

COURS DE PREMIÈRE ANNÉE.

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>A) STRUCTURE DE LA MATIÈRE.</p> <p>Préambule.</p> <p>L'importance accordée au programme d'atomistique est justifiée, en particulier par ses diverses applications en spectroscopie</p> <p>I - L'atome.</p> <p>I -1- Ses constituants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - électron ; - noyau: neutron, proton ; - nombres de masse et de charge ; - nucléide, élément, isotope ; - masse atomique relative. <p>I-2- Le modèle quantique de l'atome.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence expérimentale de la quantification de l'énergie des atomes : spectre de raies. - Onde associée à une particule, probabilité de présence de l'électron ; nombres quantiques n, l, m, orbitale atomique ; géométrie des orbitales s, p, d. - Spin de l'électron, nombre quantique de spin. - Configuration électronique des atomes dans leur état fondamental : principe de Pauli, règle de Klechkowski et règle de Hund. 	<p>Ce paragraphe constitue un rappel de connaissances acquises.</p> <p>Aucun calcul relatif aux expériences historiques (Millikan, Rutherford) ne sera envisagé.</p> <p>Cohésion, défaut de masse, fission, radioactivité sont traités en physique.</p> <p>Les calculs concernant l'identification sont hors programme. Les méthodes de séparation pourront être sommairement décrites.</p> <p>Aucun calcul ni aucune question ne seront posés sur le modèle de Bohr.</p> <p>Les règles de Slater ne sont pas au programme.</p> <p>L'équation de Schrödinger n'est pas au programme.</p>

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>II - Classification périodique des éléments à partir du modèle quantique de l'atome. (environ 4 heures)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Construction : historique et classification actuelle. – Périodicité des propriétés atomiques : <ul style="list-style-type: none"> • énergie d'ionisation, affinité électronique ; • électronégativité de Pauling ; • notion de pouvoir polarisant et de polarisabilité. <p>III - La liaison chimique.</p> <p>III - 1- La liaison covalente.</p> <p>III - 1.1 - Exploitation de données expérimentales pour déterminer :</p> <ul style="list-style-type: none"> – les constantes de force, longueurs et énergies de liaison, – la géométrie, les moments dipolaires et les propriétés magnétiques des molécules. <p>III - 1.2 - Structure électronique des molécules.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Liaison covalente localisée : notation de Lewis, règle de l'octet et règle des dix huit électrons. – Liaison covalente délocalisée : mésomérie - résonance. – Prévion de la géométrie par la méthode de répulsion des paires électroniques de la couche de valence (VSEPR). – Niveaux énergétiques électroniques : <ul style="list-style-type: none"> • principe de construction des orbitales moléculaires par combinaison linéaire d'orbitales atomiques ; • diagramme des orbitales moléculaires des molécules diatomiques. 	<p>La représentation en 18 colonnes est recommandée par l'U.I.C.P.A..</p> <p>Les évolutions et les analogies dans les colonnes et les lignes seront mises en évidence.</p> <p>L'existence d'autres échelles d'électronégativité sera signalée.</p> <p>La présentation de résultats d'expériences en spectroscopie IR (molécules diatomiques), électricité, magnétisme, a pour but d'introduire le modèle de liaison. Les techniques de mesure et les calculs relatifs à la spectroscopie sont hors programme.</p> <p>Le principe de construction sera limité à l'interaction entre deux orbitales atomiques. On se limite aux éléments de la deuxième période.</p>

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>– Etude des complexes : structure électronique ; géométrie.</p> <p>III - 2- Autres interactions fortes :</p> <ul style="list-style-type: none"> – interaction ionique, – liaison métallique. <p>III - 3 - Interactions faibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> – liaison de Van der Waals, – liaison hydrogène. <p>IV - L'état solide.</p> <p>IV - 1 - Présentation de l'état cristallin : réseaux, nœuds, maille, motif, coordinence, compacité ;</p> <p>IV - 2 - Les édifices métalliques :</p> <ul style="list-style-type: none"> – réseau cubique centré ; – assemblages compacts : cubique faces centrées - hexagonal compact ; – existence de sites interstitiels tétraédriques et octaédriques ; – alliages d'insertion et de substitution : structure, exemples. <p>IV - 3 - Les édifices ioniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> – description des divers types de structures : CsCl, NaCl, ZnS (blende), CaF₂ ; – relations entre type structural et rayons ioniques dans le cas des composés AB. <p>IV - 4 - Les édifices covalents et moléculaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> – carbone : diamant, graphite ; – cristaux moléculaires : diiode, dioxyde de carbone, glace. 	<p>La structure électronique est envisagée dans le cadre de la théorie du champ cristallin appliquée aux complexes octaédriques. Les propriétés magnétiques des complexes seront évoquées à cette occasion. La nature du ligand (champ fort, champ faible) sera précisée le cas échéant. Aucune connaissance sur l'isomérisation n'est exigible.</p> <p>Le modèle de bandes pourra être esquissé de façon très sommaire dans le but de distinguer conducteurs, isolants et semi-conducteurs. On introduira à cette occasion les notions de rayon ionique et de rayon métallique.</p> <p>On insistera sur l'influence de ces liaisons sur les propriétés physico-chimiques. On introduira la notion de rayon de Van der Waals.</p> <p>Les quatorze réseaux de Bravais, les indices de Miller, la loi de Bragg ne sont pas au programme.</p> <p>Le dénombrement et le calcul des dimensions des sites ne seront effectués que dans le cas du réseau cubique compact.</p> <p>Le calcul de l'énergie réticulaire sera fait en thermo chimie en utilisant le cycle de Born-Haber. Le calcul de la constante de Madelung est exclu.</p>

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>B) THERMODYNAMIQUE CHIMIQUE.</p> <p>En liaison avec le cours de physique où les grandeurs U, H, S, G ont été introduites.</p> <p>I - Le système thermodynamique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - description d'un système fermé en réaction chimique : avancement de la réaction ; - état standard d'un constituant pur : grandeur molaire standard. <p>II - Applications du premier principe - thermochimie. Système fermé siège d'une transformation physicochimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - énergie interne standard de réaction $\Delta_r U^\circ$; - enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$; - enthalpie standard de formation $\Delta_f H^\circ$. - variation de ces grandeurs avec la température ; température de flamme. <p>III - Application du 2ème principe aux réactions chimiques.</p> <p>Critère d'évolution spontanée d'un système :</p> <ul style="list-style-type: none"> - entropie de réaction $\Delta_r S$; variation de cette grandeur avec la température, - potentiel chimique, - enthalpie libre de réaction $\Delta_r G$; expression en fonction du produit π ($\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln \pi$). <p>Équilibre chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - condition d'équilibre ; - constante thermodynamique $K^\circ(T)$; - variation de K° avec la température ; relation de Van't Hoff ; - détermination de la composition d'un système à l'équilibre (équilibre homogène gazeux, liquide ; équilibre hétérogène) ; - déplacement d'équilibre ; - variance. 	<p>On envisagera des exemples faisant intervenir des changements d'état.</p> <p>On envisagera des exemples faisant intervenir des changements d'état. On se limitera à son expression. La relation de Gibbs-Duhem est hors programme. La démonstration de cette relation ne pourra être exigée des élèves.</p> <p>On pourra choisir des exemples industriels.</p> <p>On se limitera à une étude qualitative. La formule de Gibbs sera donnée sans démonstration.</p>

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>C) RÉACTIONS EN SOLUTION AQUEUSE.</p> <p>Préambule.</p> <p>La réflexion sur les phénomènes sera privilégiée en évitant toute dérive calculatoire. Tous les calculs seront effectués sur les concentrations, et non sur les activités. L'étude de la solution sera envisagée à partir de la réaction prépondérante. Un calcul faisant intervenir plus de deux réactions prépondérantes simultanément ne sera pas exigé. La liaison avec les travaux pratiques d'analyse sera largement privilégiée. La détermination des domaines de prédominance ou d'existence des espèces acido-basiques, des complexes, des précipités, des oxydants et réducteurs sera systématique. En ce qui concerne les courbes de dosage, on utilisera une simulation par ordinateur pour obtenir la composition de la solution. Il ne sera pas fait de calculs conduisant à l'établissement des courbes de dosage. L'établissement de diagrammes logarithmiques ne sera pas exigible.</p> <p>I - L'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permittivité relative, conductivité, ionisation ; structure et mobilité du proton hydraté ; autoprotolyse de l'eau, produit ionique. - Solvatation et solvolysse. - Electrolyte fort, électrolyte faible. <p>II - Réactions acide-base (formulation de Brönsted).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition des acides et des bases. - Calcul du pH des solutions aqueuses. <p>- Solutions tampon.</p> <p>III - Réactions de précipitation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solubilité et produit de solubilité. - Condition de précipitation. - Effet d'ion commun. - Influence du pH sur la solubilité. <p>IV - Réactions de complexation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stabilité des complexes. - Complexations compétitives. - Complexe et précipitation. - Complexe et pH. 	<p>Le choix de l'ordre de grandeur des concentrations sera guidé par les cas rencontrés en travaux pratiques d'analyse (pas de concentrations très faibles). Le nombre de réactions prépondérantes à envisager sera déterminé par un critère simple comme par exemple la comparaison des produits $K_a \times c$ pour des acides en compétition. Le pouvoir tampon sera défini mais ne fera pas l'objet de calculs.</p> <p>L'effet d'ions non communs ne sera pas envisagé. On se limitera à des exemples simples.</p> <p>On définira les constantes successives et la constante globale. On se limitera à des exemples simples.</p>

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>V - Réactions d'oxydo-réduction.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Couple redox : définition, potentiel redox standard, formule de Nernst. - Prévion qualitative et quantitative des réactions ; détermination des constantes d'équilibre. - Oxydo - réduction et pH : diagrammes conditionnels potentiel-pH. - Oxydo - réduction et complexation : diagrammes potentiel-pL. - Oxydo - réduction et précipitations : diagrammes potentiel-pX. 	<p>La formule de Nernst sera donnée sans démonstration. On utilisera la relation : $\Delta rG^{\circ} = - n FE^{\circ}$.</p> <p>Les conditions nécessaires à l'établissement des diagrammes seront choisies dans un souci de simplification des calculs. Toutes les espèces dissoutes seront supposées exister en solution à la même concentration. L'accent sera mis sur l'exploitation du diagramme qui sera, notamment, utilisée en chimie minérale.</p> <p>Les diagrammes de Frost ne sont pas exigés.</p>

CHIMIE GÉNÉRALE ET INORGANIQUE :

COURS DE DEUXIÈME ANNÉE.

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>A) CINÉTIQUE CHIMIQUE.</p> <p>1 - Définition générale de la vitesse d'une réaction chimique dans le cas d'un réacteur fermé et de composition uniforme : vitesses de disparition et de formation d'un constituant, vitesse globale de réaction.</p> <p>2- Influence des concentrations sur la vitesse d'une réaction ; ordre de réaction ; méthodes expérimentales de détermination.</p> <p>3 - Étude de quelques types de réaction :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réactions totales d'ordre 0, 1 et 2 (proportions quelconques), - réactions d'ordre 1 donnant lieu à un équilibre chimique, - réactions successives d'ordre 1, - réactions parallèles d'ordre 1. <p>4 - Influence de la température. Energie d'activation.</p> <p>5 - Notions de mécanismes réactionnels en cinétique homogène.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Molécularité. - Processus élémentaires : intermédiaires de réaction, état de transition. - Approximation de l'état quasi-stationnaire. - Approximation de l'étape cinétiquement déterminante. - Application à la vérification de mécanismes réactionnels, postulat de Hammond, contrôles cinétique et thermodynamique. 	

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>6 - Catalyse homogène et hétérogène.</p> <p>B) CHIMIE MINÉRALE.</p> <p>Cette étude s'appuie sur toutes les notions acquises en chimie générale, c'est pourquoi elle se situe en deuxième année.</p> <p>L'étude des composés en solution aqueuse se fait plutôt à travers le cours de chimie générale et au laboratoire. L'accent sera mis sur l'importance industrielle des composés choisis.</p> <p>1 - L'oxygène.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etude de la molécule de dioxygène. - Réactivité du dioxygène gazeux - Etude des oxydes ; <ul style="list-style-type: none"> • classification structurale, • évolution du caractère acido-basique, • stabilité et réduction : diagramme d'Ellingham. <p>2 - Le chlore.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etude de la molécule de dichlore. - Réactivité du dichlore gazeux. - Etude du chlore en solution aqueuse : exploitation du diagramme potentiel-pH. - Préparation industrielle du dichlore. - Evolution des propriétés des halogènes : <ul style="list-style-type: none"> • propriétés physiques des atomes, des molécules X_2, et HX, • propriétés oxydo-réductrices de X_2 en solution aqueuse. 	<p>Se limiter à des notions très simples pour cette étude ; ne présenter aucun calcul sur la catalyse hétérogène.</p> <p>Signaler l'importance de la catalyse enzymatique sans l'aborder du point de vue formel ; le modèle de Michaelis peut être explicité sans être exigible à l'examen.</p> <p>On signalera, à côté du mélange fer-carbone, les mélanges d'oxydes de métaux ayant une application industrielle (ex : silice-alumine).</p> <p>On se limitera aux espèces de degrés d'oxydation (- I, 0, +I).</p> <p>On utilisera les courbes intensité-potential $I = f(E)$.</p>

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>3 - L'ammoniac et l'acide nitrique.</p> <p>3-1- L'ammoniac.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Synthèse industrielle. - Réactivité de l'ammoniac gazeux. - L'ammoniac liquide : <ul style="list-style-type: none"> • propriétés acido-basiques du solvant, comparaison avec l'eau, • propriétés oxydo-réductrices. <p>3-2- L'acide nitrique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propriétés acides et propriétés oxydantes. - Préparation industrielle. - Notions sur l'industrie des engrais azotés. <p>4 - L'acide sulfurique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Préparation industrielle, importance industrielle. - Propriétés acides et propriétés oxydantes. - Notions sur l'industrie des divers types d'engrais. <p>5- Quelques métaux, alliages, matériaux.</p> <p>5-1 Généralités sur les métaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propriétés physiques et mécaniques, intérêt des alliages ; - Grands principes de la métallurgie : <ul style="list-style-type: none"> • méthodes chimiques, • méthodes électrochimiques : exemple de l'aluminium, • affinage. 	<p>Le calcul relatif à l'optimisation du rendement par le choix des proportions des réactifs ne sera pas envisagé.</p> <p>Aucun calcul en milieu non aqueux ne sera exigé.</p> <p>Par le procédé de contact.</p>

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>5-2 L'uranium.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Élément, propriétés radioactives, enrichissement isotopique. – Le cycle du combustible nucléaire : <ul style="list-style-type: none"> • élaboration du combustible à partir du minerai, • retraitement. – Propriétés réductrices de l'uranium. <p>5-3 Le fer.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Diagramme potentiel-pH simplifié et application à la corrosion. – Métallurgie : <ul style="list-style-type: none"> • obtention de la fonte, • passage de la fonte à l'acier, • notions succinctes sur les aciers spéciaux. 	<p>Aucun détail technologique sur les centrales nucléaires ne sera exigé.</p> <p>On utilisera, sans le construire, le diagramme faisant intervenir Fe_2O_3.</p> <p>On étudiera le diagramme simplifié fer-carbone sans le construire. A cette occasion, la notion de diagramme binaire solide-liquide sera introduite.</p>

CHIMIE GÉNÉRALE ET INORGANIQUE : TRAVAUX PRATIQUES D'ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE.

Préambule.

- Le respect de l'environnement et des règles de sécurité sera une préoccupation constante lors du travail au laboratoire (prise de conscience de la toxicité des produits, récupération des déchets, ...).
- On utilisera aussi souvent que possible l'outil informatique pour l'acquisition et le traitement des données expérimentales.
- On sensibilisera les étudiants aux notions de qualité et de norme.
- On insistera sur l'expression correcte du résultat en fonction de la précision de la méthode.

**ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE.
TRAVAUX PRATIQUES
DE PREMIERE ANNEE.**

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p><i>On se limitera aux réactions en solution aqueuse. L'ordre de progression est laissé à l'initiative du professeur</i></p>	
<p>Thèmes</p> <p>– DOSAGES ACIDO-BASIQUES :</p> <ul style="list-style-type: none"> • utilisation d'indicateurs colorés ; • pHmétrie ; • conductimétrie. <p>– DOSAGE PAR PRÉCIPITATION :</p> <ul style="list-style-type: none"> • gravimétrie ; • volumétrie : méthodes de Mohr et Charpentier Volhard ; • potentiométrie ($i = 0$) ; • conductimétrie. <p>– DOSAGES PAR COMPLEXATION. Utilisation de l'EDTA disodique (avec indicateur coloré) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dosage direct ; • dosage en retour ; • dosage par substitution. 	<p>Substances étalons à reconnaître :</p> <ul style="list-style-type: none"> – étalons primaires ; <ul style="list-style-type: none"> – acide benzoïque, – hydrogénophtalate de potassium, – hydrogénodiiodate de potassium, – hydrogénocarbonate de potassium, – carbonate de sodium. – étalons secondaires ; <ul style="list-style-type: none"> – acide oxalique, – tétraborate de disodium. <p>L'utilisation d'un titrateur automatique doit être envisagée.</p> <p>En gravimétrie, on se limitera à un dosage.</p> <p>Substances étalons ;</p> <ul style="list-style-type: none"> – carbonate de calcium, – métaux purs (zinc, cuivre, magnésium).

PROGRAMME DE PREMIÈRE ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>– DOSAGES D’OXYDORÉDUCTION :</p> <ul style="list-style-type: none"> • utilisation d’indicateurs colorés ; • potentiométrie ($i = 0$) ; • manganimétrie ; • iodométrie ; • cérimétrie ; • chromimétrie. <p>– DOSAGES PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE D’ABSORPTION MOLÉCULAIRE (UV, VISIBLE) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • tracé de spectres d’absorption ; • dosages : méthode de la gamme d’étalonnage. <p>– DOSAGE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE D’ABSORPTION ATOMIQUE ET D’ÉMISSION ATOMIQUE.</p> <p>– PROPRIÉTÉS ANALYTIQUES D’IONS EN SOLUTION AQUEUSE. Les exemples seront choisis parmi les ions rencontrés en analyse quantitative et en chimie minérale.</p>	<p>Indicateurs colorés : diphénylaminésulfonate de sodium ou de baryum, orthophénanthroline fer (II).</p> <p>Substances étalons : oxalate de sodium, acide oxalique, sel de Mohr. On proposera en outre : la méthode de Zimmerman-Reinhardt. Substances étalons : iodate de potassium, hydrogénodiodate de potassium, trioxyde de diarsenic, dichromate de potassium.</p> <p>Détermination de la D.C.O..</p> <p>On introduira la méthode des ajouts dosés. On signalera l’importance croissante des torches à plasma (ICP).</p> <p>Cette étude basée sur une approche raisonnée plutôt que descriptive, permettra d’illustrer les grands types de réactions.</p>

**ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE:
TRAVAUX PRATIQUES
DE DEUXIÈME ANNÉE.**

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>A) Thèmes.</p> <p>METHODES ELECTROCHIMIQUES.</p> <p>– Étude des courbes intensité-potentiel.</p> <p>– Applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> • polarographie ; • ampérométrie ; • potentiométrie à courant nul : <ul style="list-style-type: none"> – utilisation d'électrodes spécifiques, – utilisation d'une électrode de mercure : <ul style="list-style-type: none"> * mercurimétrie : dosage des ions chlorures et de l'EDTA, * dosage de cations en présence du complexe mercure-EDTA ; • potentiométrie à courant imposé ; • électrogravimétrie. <p>METHODES OPTIQUES : SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION MOLECULAIRE :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dosage d'un mélange de substances ; • dosage photométrique par suivi d'absorbance en fonction du volume de réactif versé. 	<p>Étude expérimentale : système rapide - système lent. Étude théorique très simplifiée dans laquelle on ne donne pas de développements mathématiques.</p> <p>Utilisation en analyse qualitative. Dosage d'un ion, d'un mélange d'ions ou d'un composé organique. Méthodes à une et deux électrodes indicatrices (telles que mercure, platine, argent). Exemples : électrodes à fluorure, à nitrate, ...</p> <p>On se limitera au montage à deux électrodes indicatrices.</p> <p>On pourra utiliser une fibre optique.</p>

PROGRAMME DE DEUXIÈME ANNÉE	COMMENTAIRES
<p>CHROMATOGRAPHIE SUR RESINES ECHANGEUSES D'IONS.</p> <p>TECHNIQUES SPECIFIQUES.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosages d'acides ou de bases très faibles. • Dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl. • Dosage de l'eau par la méthode de Karl Fischer. <p>DOSAGES DE SUBSTANCES ORGANIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Détermination des indices d'iode, d'acide, d'ester et de saponification. • Dosages de substances telles que : alcool, cétone, aldéhyde, phénol, amine. <p>ÉTUDE DE CINETIQUES DE REACTIONS.</p> <p>DETERMINATION DE CONSTANTES THERMODYNAMIQUES.</p> <p>B) Couplage de méthodes analytiques.</p> <p>Après l'étude des différents thèmes, on combinera les techniques acquises au cours des deux années à l'occasion de séances récapitulatives.</p> <p>C) Compléments sur les appareillages professionnels.</p> <p>Organisation de visites (laboratoires, sites industriels).</p>	<p>On soulignera l'importance croissante de la chromatographie ionique.</p> <p><i>Exemples :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – acide borique en présence de polyols, – acide phosphorique en présence d'ions Ag^+, – ions NH_4^+ ou acides aminés en présence de méthanal, – en milieu non aqueux ; dosage de l'hydrogénéphthalate de potassium par l'acide perchlorique, en milieu acide acétique. <p><i>Exemples :</i> analyse des eaux, engrais, ciments, détergents, alliages, bains industriels, ...</p> <p>Progressivement l'étudiant devra choisir de manière autonome les méthodes et, en conséquence, les appareils à utiliser. Il devra savoir consulter des tables de données.</p> <p><i>Exemples :</i> torche à plasma, fluorescence X, chromatographie ionique, microscope électronique,...</p>

CHIMIE GÉNÉRALE ET INORGANIQUE : TRAVAUX PRATIQUES.

A LA FIN DES DEUX ANNÉES, LES ÉTUDIANTS
DOIVENT SAVOIR UTILISER LES APPAREILS SUIVANTS.

1) Verrerie et instruments usuels de laboratoire.

2) Matériel d'analyse.

a) Électrochimie :

- pHmètre - millivoltmètre,
- ionomètre,
- conductimètre,
- dispositif pour polarographie,
- dispositif pour potentiométrie à courant imposé,
- dispositif pour ampérométrie,
- dispositif pour électrogravimétrie,
- titrateur automatique,
- différents types d'électrodes.

b) Spectrophotométrie :

- spectrophotomètre d'absorption atomique,
- spectrophotomètre d'absorption moléculaire UV-visible,
- photomètre de flamme.

3) Matériel informatique : ordinateur avec logiciels d'acquisition et de traitement des données expérimentales, tableur graphique.

CHIMIE GÉNÉRALE ET INORGANIQUE : LISTE DU MATÉRIEL NÉCESSAIRE POUR LES TRAVAUX PRATIQUES EN TS CHIMIE

- Balance électronique ou $1/10^0$ mg , portée 150g.
- Verrerie usuelle (ordinaire, graduée, jaugée).
- Agitateurs magnétiques (simple ou chauffant).
- Phmètre, millivoltmètre, ionomètre avec possibilité d'interfaçage à l'ordinateur.
- Electrodes de référence, électrodes de verre, électrodes métalliques.
- Electrodes spécifiques (fluorure, nitrate, ...).
- Titracteur automatique (si possible avec dispositif Karl Fischer).
- Conductimètre avec possibilité d'interfaçage à l'ordinateur.
- Cellule de conductimétrie.
- Bain thermostaté.
- Etuve.
- Four pour calcination.
- Dessiccateur.
- Matériel pour filtration sous vide.
- Spectrophotomètre d'absorption moléculaire visible et UV-visible :
 - de routine,
 - avec logiciel d'exploitation,
 - éventuellement avec fibre optique.
- Cuves en verre ou en plastique, et en quartz.
- Photomètre de flamme.
- Spectrophotomètre d'absorption atomique.
- Stand de polarographie.
- Potentiostat.
- Electrodes tournante (Pt, carbone, ...).
- Microampèremètre.
- Dispositif pour potentiométrie à courant imposé.
- Dispositif pour électrogravimétrie.
- Colonne pour résines échangeuses d'ions.
- Montage pour dosage de Kjeldahl.
- Ordinateur avec imprimante et logiciels d'acquisition et de traitement des données expérimentales.
- Tableur graphique.

CHIMIE ORGANIQUE : COURS DE PREMIERE ET DEUXIEME ANNEE.

Préambule.

L'ordre présenté ci-dessous ne l'est qu'à titre indicatif, et il couvre les deux années. D'autres progressions sont possibles. L'exercice de la liberté pédagogique ne doit pas faire oublier que certains étudiants changent d'établissement entre la classe de STS1 et celle de STS2.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
A) CHIMIE ORGANIQUE GÉNÉRALE.	
1- Détermination d'une formule brute.	On se limitera à l'exploitation des résultats de la microanalyse élémentaire limitée à C, H, O, N, S et halogènes, la masse molaire étant fournie.
2- L'atome de carbone et ses liaisons.	On se limitera à une description géométrique des liaisons dans la molécule (direction, longueur, symétrie, ...). Représentations développées, semi-développées et topologiques.
3- Isomérie.	La manipulation de modèles moléculaires pour concrétiser les notions abordées dans ce paragraphe se fera en travaux dirigés.
3.1 - Isomérie structurale.	
3.2 - Introduction à la stéréochimie : <ul style="list-style-type: none"> • représentations graphiques des molécules ; • notions de conformation et configuration. 	Représentations perspective, de Cram, de Newman, de Fischer et de Haworth.
3.3 - Analyse conformationnelle.	Diagrammes énergétiques (E_p en fonction de α (angle du dièdre)) ; cas des chaînes saturées simples non cycliques et cycliques ; cas des diènes conjugués.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
3.4 - Isomérisation de configuration : <ul style="list-style-type: none"> • chiralité, activité optique ; • énantiomérisation ; • diastéréoisomérisation ; • lien entre chiralité et activité biologique. 	Règles séquentielles de Cahn-Ingold-Prelog ; nomenclatures R, S et D, L. On étudiera principalement les molécules possédant un centre d'asymétrie ; on évoquera le cas des allènes, des hydrures spiraniques et des biphényles ortho-disubstitués. Principes de résolution des racémiques. Cas des doubles liaisons (nomenclature Z,E) ; cas des cyclanes (nomenclature cis-trans) ; cas des stéréoisomères non cycliques et cycliques ayant deux atomes de carbone asymétriques. On pourra prendre comme exemple : le lindane, la thalidomide, ...
4- Réactivité en chimie organique.	
4.1 - Effets électroniques dans les liaisons.	Polarisation et polarisabilité d'une liaison ; effet inducteur ; effet mésomère, délocalisation électronique.
4.2 - Tautomérisation et ses conséquences.	On se limitera à la prototropie.
4.3 - Notion de mécanisme réactionnel.	Présentation des diagrammes énergétiques $E_p = f(C.R.)$ des processus en une étape ou deux étapes élémentaires ; approche des notions de contrôle thermodynamique et cinétique.
4.4 - Intermédiaires réactionnels.	Structure, stabilité, réactivité ; on étudiera principalement les carbocations, les carbanions et les radicaux ; on évoquera le cas des méthylènes (carbènes).
4.5 - Acido-basicité de Brønsted et de Lewis.	
4.6 - Nucléophilie, électrophilie.	
4.7 - Orientation des réactions.	Régiosélectivité, stéréosélectivité, stéréospécificité.
5- Solvants.	Polaires ; apolaires ; protiques ; aprotiques. Notions simples de lipophilie, hydrophilie, amphiphilie. Effets toxicologiques de la famille des solvants.

PROGRAMME	COMMENTAIRES

PROGRAMME	COMMENTAIRES
B) CHIMIE ORGANIQUE FONCTIONNELLE.	
<p>A l'occasion de chaque chapitre, on donnera la nomenclature (officielle et triviale), les propriétés spectroscopiques, physiques et toxicologiques, ainsi que les réactions dangereuses, les préparations et les applications industrielles.</p> <p>L'initiation à la synthèse organisée sera développée tout au long du cycle (protection de fonction, rétrosynthèse, ...).</p> <p>Les mécanismes seront interprétés uniquement en termes de contrôle de charge ; la notion d'orbitale frontière est hors programme.</p> <p>A l'occasion de l'étude des propriétés des différentes familles, on insistera sur l'appartenance des réactions rencontrées aux grands types de mécanismes.</p> <p>Seuls les mécanismes des réactions marquées d'un astérisque (*) sont exigibles à l'examen.</p>	
I - RÉACTIVITÉ DES HYDROCARBURES ET DES COMPOSÉS MONOFONCTIONNELS.	
ALCANES	<p>raffinage du pétrole : pétrochimie ; halogénéation : substitution radicalaire * ; nitration ; sulfonation ; oxydation.</p>
ALCENES 1- Addition électrophile. 2- Autres additions. 3- Oxydations. 4- Substitution allylique.	<p>mécanisme général * ; halogénéation*, hydratation*, hydrohalogénéation* ; formation d'halohydrines* ; réarrangement d'un carbocation ;</p> <p>addition radicalaire de HBr* ; hydroboration ; hydrogénation ; oxosynthèse ; addition des méthylènes (carbènes) ;</p> <p>avec et sans coupure de la molécule ;</p> <p>halogénations.</p>
ALCYNES 1- Additions. 2- Propriétés des alcynes vrais.	<p>hydrogénation ; additions électrophiles ; hydroboration ;</p> <p>propriétés acides ; propriétés nucléophiles des ions alcynures.</p>
COMPOSÉS AROMATIQUES 1- Notion d'aromaticité.	<p>règle de Hückel sans calculs de mécanique quantique ;</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES

PROGRAMME	COMMENTAIRES
2- Substitution électrophile.	mécanisme général* ; monosubstitution* ; polysubstitution, règles de Hollemann : la justification de ces règles par l'étude des intermédiaires de Wheland ne peut faire l'objet d'une question à l'examen ; le cas du naphthalène sera traité de façon succincte ;
3- Réactions de la chaîne latérale.	halogénéation et oxydation ;
4- Additions.	halogénéation ; hydrogénation ;
5- Réduction de Birch.	
6- Oxydations du cycle.	cas du benzène, du naphthalène, de l'anthracène ;
7- Hétérocycles à caractère aromatique.	on traitera d'un hétérocycle à 5 chaînons possédant un seul hétéroatome et d'un hétérocycle à 6 chaînons : la pyridine ; on mettra en évidence leur différence de comportement.
DÉRIVÉS HALOGÉNÉS	
1- Substitution nucléophile.	substitution nucléophile unimoléculaire (SN1) et bimoléculaire (SN2)* ;
2- Réaction d'élimination.	élimination unimoléculaire (E1) et bimoléculaire (E2)* ; compétition substitution nucléophile-élimination ;
3- Action des métaux et du silicium.	
4- Halogénures éthyléniques.	SN avec les composées vinyliques et allyliques.
ORGANOMÉTALLIQUES	
1- Organomagnésiens mixtes : - constitution ; - propriétés basiques ; - propriétés nucléophiles.	justification du choix du solvant ; schémas réactionnels des réactions avec les époxydes, les dérivés halogénés, les orthoesters et les composés comportant les groupes C=O et C=N ;

PROGRAMME	COMMENTAIRES
2- Autres organométalliques.	comparaison de la réactivité de quelques organométalliques ; en particulier, action des lithien, magnésien et cuprate avec une cétone conjuguée.
ALCOOLS	(à cette occasion on montrera la similitude thiols - alcools)
1- Propriétés acido-basiques.	
2- Propriétés nucléophiles.	déshydratation* ; estérification* ; halogénéation ; acétalisation ;
3- Oxydations ; déshydrogénation.	obtention d'aldéhydes, de cétones ou d'acides.
PHÉNOLS	
1- Acidité.	
2- Substitution électrophile.	influence du groupe OH* ;
3- Propriétés nucléophiles.	éthérification* , acylation* ;
4- Réactions de condensation.	milieu acide et milieu basique : - synthèse de phtaléines et de phénoplastes ; - réactions de Kolbe et de Reimer-Tiemann.
5- Oxydo-réduction.	
ÉPOXYDES ET ÉTHERS-OXYDES	
1- Ouverture du cycle des époxydes.	attaque nucléophile* ; ouverture par catalyse acide* ;
2- Propriétés nucléophiles des éthers-oxydes.	action de l'acide iodhydrique ;
3- Réaction due à l'hydrogène en α des éthers-oxydes.	formation des hydroperoxydes ; corrélation avec les risques encourus lors de la manipulation des éthers-oxydes.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
AMINES ALIPHATIQUES	
1- Propriétés basiques.	
2- Propriétés nucléophiles.	formation d'amides*, d'imines*, d'énamines*, formation de sulfonamides, d'isocyanates ; réaction avec l'acide nitreux : schéma réactionnel ;
3- Ions ammonium quaternaires.	élimination d'Hofmann*.
AMINES AROMATIQUES	
1- Propriétés basiques.	
2- Substitution électrophile.	influence du groupe NH ₂ * ;
3- Propriétés nucléophiles.	formation d'amides* ; réaction avec l'acide nitreux ;
4- Oxydations.	on se limitera à la formation de noir d'aniline et de dérivés nitrés.
DIAZOIQUES	
1- Réactions avec départ d'azote.	halogénations ; préparation de nitriles, de phénols ; désamination nitreuse ;
2- Réactions sans départ d'azote.	préparation d'azoïques* ; réduction en hydrazines substituées ;
3- Le diazométhane.	la préparation n'est pas au programme ; réactions avec les composés à hydrogène mobile et les composés carbonylés.
ALDÉHYDES-CÉTONES	
1- Addition nucléophile au carbonyle.	mécanisme général* ; eau* ; alcools* ; thiols* ; organométalliques* ; alcynures* ; hydrures* ; dérivés du type A-NH ₂ * ; acide cyanhydrique* ; hydrogénosulfite de sodium* ; pentachlorure de phosphore ; réactions de Doebner-Knoevenagel ; réaction de Wittig* ; à propos de la formation des cétoximes on traitera la transposition de Beckmann en milieu acide* ;

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>2- Réactions dues à l'hydrogène en α.</p> <p>3- Aldéhydes aromatiques.</p> <p>4- Cétones conjuguées.</p> <p>5- Réactions d'oxydo-réduction.</p>	<p>aldolisation*, cétolisation*, crotonisation* ; halogénéation en milieu acide et basique* ;</p> <p>réaction de Perkin ; benzoïnation ;</p> <p>addition 1,4 de Michael* ; action des organomagnésiens* ;</p> <p>réductions en alcanes et en alcools ; réduction duplicative ; oxydation en milieu acide ou basique des aldéhydes ; oxydation des cétones avec coupure de la chaîne carbonée ; réaction de Cannizzaro*.</p>
ACIDES CARBOXYLIQUES	
<p>1 - Propriétés acides.</p> <p>2 - Passage aux dérivés d'acides.</p> <p>3 - Halogénéation en α.</p> <p>4 - Passage aux dérivés carbonylés.</p> <p>5 - Réduction.</p>	<p>le mécanisme est hors programme ;</p> <p>réactions de Piria et de Sabatier-Senderens.</p>
DÉRIVÉS D'ACIDES	
<p>1 - Chlorures, anhydrides, esters, amides, nitriles.</p> <p>2 - Dégradation d'Hofmann des amides.</p> <p>3 - Réactions dues à la mobilité de l'hydrogène en α du carbonyle des esters et des nitriles.</p>	<p>réactivités comparées ; hydrolyse ; réductions (catalytique et par les hydrures) ; réactions avec les organométalliques.</p>
II - RÉACTIVITÉ DES COMPOSÉS POLYFONCTIONNELS.	
DIÈNES CONJUGUÉS	
<p>1 - Addition électrophile 1,2 et 1,4 .</p> <p>2 - Synthèse de Diels-Alder.</p>	<p>contrôles cinétique et thermodynamique ;</p> <p>on étendra au cas des dérivés carbonylés α,β-insaturés ; à propos de la stéréochimie de l'addition, on n'abordera pas l'étude des isomères endo et exo.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
DIOLS	
1 - Déshydratation.	déshydratations inter et intramoléculaire ; transposition pinacolique * ;
2 - Oxydations.	avec ou sans coupure de la molécule.
3 - Protection du groupe carbonyle.	
COMPOSÉS DICARBONYLÉS	
1 - Composés 1,2-dicarbonylés.	glyoxal : réaction de Cannizzaro intra- moléculaire* ;
2 - Composés 1,3-dicarbonylés.	benzile : réaction de transposition benzylique ; propriétés acides ; tautomérie.
DIACIDES	
1 - Propriétés acides.	influence de la structure ;
2 - Déshydratation et décarboxylation.	influence de la structure ;
3 - Esters maloniques.	on se limitera à la synthèse malonique *.
III - APPLICATIONS.	
MATÉRIAUX MACROMOLÉCULAIRES	
1 - Polymérisation par addition.	réactions radicalaires, cationiques, anioniques, de Ziegler-Natta ;
2 - Polymérisation par condensation.	
3 - Relations structure-propriétés.	on introduira les notions de tacticité, de polymères thermoplastiques et thermodurcissables et d'élastomères ;
4 - Les matières plastiques.	on soulignera l'intérêt des adjuvants à l'aide de quelques exemples.
5 - Produits de dégradation.	
COMPOSÉS D'INTÉRÊT BIOLOGIQUE	
	On se contentera dans ce paragraphe de décrire les principales structures rencontrées dans ces molécules et d'étudier les propriétés fondamentales qui en découlent.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>1 - Acides α-aminés - Polypeptides - Protéines :</p> <ul style="list-style-type: none">- propriétés acido-basiques ;- stéréochimie des acides aminés naturels ;- liaison peptidique ;- stéréochimie des protéines ;- intérêt biologique. <p>2 - Glucides :</p> <ul style="list-style-type: none">- présentation des principales familles ;- anomérie ;- intérêt biologique. <p>3 - Lipides :</p> <ul style="list-style-type: none">- classification ; <p>- utilisations dans les domaines biologiques, alimentaires et industriels.</p>	<p>structures primaire et secondaire.</p> <p>lipides simples ou homolipides : triglycérides, cires ; lipides complexes ou hétérolipides : phospholipides ; micelles, liposomes, membranes.</p>

CHIMIE ORGANIQUE : TRAVAUX PRATIQUES DE PREMIÈRE ET DEUXIÈME ANNÉE.

La sensibilisation aux problèmes de toxicologie, d'écotoxicologie et de sécurité, par rapport aux produits utilisés, aux appareillages, aux réactions mises en jeu, devra être un souci constant. Au cours de chaque séance, on recherchera dans la documentation disponible les risques encourus, ainsi que les précautions à prendre pour s'en garantir et protéger l'environnement. Il est important que les élèves soient sensibilisés aux bonnes pratiques de laboratoire (B.P.L.) ; on insistera particulièrement sur la saisie, le classement, l'archivage de l'information et la tenue d'un cahier de laboratoire.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
A) TECHNIQUES DE SYNTHÈSE, DE SÉPARATION ET DE PURIFICATION.	
Initiation, ou révision, des techniques fondamentales du laboratoire de chimie organique (distillation, cristallisation, extraction, contrôle des constantes physiques, etc...).	On présentera le matériel de synthèse et les différents types d'appareillage utilisés selon les conditions réactionnelles. On expliquera les raisons du choix de tel ou tel type d'appareillage (pour toute cette partie, on pourra s'aider utilement de catalogues de fournisseurs de matériel).
B) MÉTHODES SPECTROMÉTRIQUES.	
L'étude théorique est limitée au minimum nécessaire à l'exploitation correcte des spectres, ceci en complément des notions théoriques étudiées dans les autres disciplines. L'étude technologique des différents types d'appareillage est exclue. L'étude des spectres donnera lieu à l'utilisation de logiciels et de banques de données.	
1. Spectrométrie de masse.	<ul style="list-style-type: none"> – Identification des isotopes. – Pics "parents" P, P+1, P+2. – Fragmentations simples. – L'étude des transpositions est exclue.
2. Spectroscopie IR	<ul style="list-style-type: none"> – Différentes techniques de préparation de l'échantillon (film, pastilles, etc...). – Tracé de spectres. – Identification des groupes caractéristiques. – On montrera (si possible) comment l'IRTF permet d'appliquer l'IR à l'analyse quantitative.
3. Spectroscopie de RMN.	<ul style="list-style-type: none"> – Exploitation de spectres de RMN du proton et du ^{13}C. – On se limitera aux couplages AX et AMX.
4. Spectroscopie UV-visible.	<ul style="list-style-type: none"> – Tracé de spectres. – Applications à l'identification de composés et

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>5. Application à la détermination des structures.</p>	<p>à leur dosage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de règles empiriques permettant de prévoir la longueur d'onde de certaines bandes d'absorption caractéristiques et d'identifier certains types de structures. <p>On montrera la complémentarité des différentes techniques.</p>
<p>C) MÉTHODES CHROMATOGRAPHIQUES.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Chromatographie sur colonne. - Chromatographie sur couche mince. - Chromatographie en phase gazeuse. - Chromatographie liquide haute performance. 	<p>On s'efforcera de faire apparaître les raisons motivant le choix de telle ou telle technique et de relier les conditions opératoires (nature de la phase stationnaire, de l'éluant, des conditions de température et de débit en phase gazeuse, etc...) à la nature des composés étudiés.</p> <p>Les TP de chromatographie seront l'occasion de familiariser les élèves à la saisie et au traitement des données par un système informatisé.</p>
<p>D) THÈMES DE SYNTHÈSE ORGANIQUE.</p>	
<p>On illustrera à l'échelle du laboratoire les réactions importantes de la chimie organique, en les rattachant aux grandes opérations unitaires de l'industrie organique. On commencera par des réactions simples et des synthèses à une seule étape, le but devant être au cours du cursus, d'arriver à la réalisation de préparations en plusieurs étapes.</p> <p>On mettra en évidence les méthodes permettant de protéger un groupement fonctionnel. Les opérations dirigées au début, devront évoluer progressivement vers une plus grande autonomie, incluant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des recherches bibliographiques ; - le choix du matériel et des réactifs ; - le calcul des quantités mises en œuvre ; - des propositions de variation des paramètres pour optimiser les résultats (on pourra à ce sujet aborder succinctement les plans d'expérience) ; - la proposition et la mise en œuvre de méthodes de contrôle des matières premières et des produits. <p>La liste ci-dessous n'est proposée qu'à titre indicatif, pour les séances ne comportant qu'une préparation en une seule étape réactionnelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - oxydations ; - réductions ; - réactions de Friedel et Crafts ; - réactions de transpositions ; - halogénations ; - réactions mettant en œuvre un organo-magnésien mixte ; <ul style="list-style-type: none"> - préparation d'un éther (à cette occasion on pourra montrer l'intérêt de la catalyse inter-faciale) ; - déshydratation ; - nitration en série aromatique ; 	

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<ul style="list-style-type: none">- réactions mettant en œuvre une diazotation ;- estérification et réactions apparentées (transestérification, réactions d'acylation des phénols et des amines) ;- réactions de condensations.	

Remarque : l'horaire indiqué de 4 heures est un horaire hebdomadaire élève moyen, mais les séances peuvent être de durées inégales, l'horaire global annuel devant être respecté. On peut ainsi envisager des séances d'une demi-journée (4 à 6 heures) ou des séances d'une journée (8 heures).

CHIMIE ORGANIQUE : TRAVAUX PRATIQUES.

A LA FIN DES DEUX ANNÉES, LES ÉTUDIANTS
DOIVENT SAVOIR UTILISER LES APPAREILS SUIVANTS.

1) Verrerie ou appareil de laboratoire nécessaire pour effectuer les opérations de :

- synthèse ;
- décantation ;
- filtration ;
- distillation ;
- extraction ;
- chauffage ;
- séchage ;
- pesée.

2) Appareillage pour analyse :

- mesure de point de fusion ;
- mesure d'indice de réfraction ;
- chromatographies sur colonne, sur couche mince, en phase gazeuse, liquide haute performance ;
- spectrophotomètres UV-visible et IR.

CHIMIE ORGANIQUE : LISTE DU MATÉRIEL NÉCESSAIRE POUR LES TRAVAUX PRATIQUES EN TS CHIMIE

Laboratoire équipé d'un système d'évacuation à chaque poste de travail, de hottes aspirantes et d'un réseau de vide.

Verrerie ou appareils de laboratoire nécessaires pour effectuer les opérations de :

- synthèse : réacteurs de 100 mL, de 250 mL et de 500 mL, réfrigérants à reflux, ampoules de coulée isobares, ampoules à brome, sondes de température et thermomètres digitaux, moyens de chauffage et d'agitation, supports élévateurs, pinces, noix, barres de montage, flacons laveurs, tubes de garde, entonnoirs (pour liquides et solides), cristallisoirs, éprouvettes, erlenmeyers et béchers de différentes capacités ;
- décantation : ampoules à décanter de 100 mL, de 250 mL, de 500 mL, anneaux de fixation ;
- filtration : fioles à vide de 250 mL, de 500 mL, de 1 L, filtres Büchner, filtres de Goosh ;
- distillation : ballons de 50 mL, 100 mL, 250 mL, colonnes Vigreux, têtes de distillation, réfrigérants droits, allonges courbes, séparateurs à plusieurs voies pour distillation sous vide, récepteurs, manomètres ;
- extraction : décanteurs de Dean-Stark, extracteurs de Soxhlet, évaporateurs rotatifs (1 pour 4 étudiants) ;
- chauffage : agitateurs magnétiques chauffants, chauffe-ballons, moteurs et pales d'agitation, bains thermostatés (1 pour 4 étudiants), bains d'huile ;
- mesure de point de fusion : bancs Köfler (1 pour 4 étudiants), appareils de mesure de point de fusion automatique ;
- mesure d'indice de réfraction : réfractomètres d'Abbe (1 pour 4 étudiants) ;
- séchage : étuves (2 par laboratoire), étuves à vide ;
- pesée : balances monoplateau électroniques au 1/10 g et au 1/100 g, balance IR pour taux d'humidité ;
- chromatographie : cuves de chromatographie, lampes UV, sèche-cheveux, pulvérisateurs, dessiccateurs, colonnes chromatographiques.

Appareillage pour analyse :

- spectrophotométrie :
 - IR : spectrophotomètre IR à transformée de Fourier avec cellule à liquide, et matériel pour solide (mortier et pilon en agathe, presse pour empastillage) ou appareil de diffusion ou cellule ATR (Attenuated Total Reflectance).
 - UV-visible : spectrophotomètre UV-visible avec système de traitements de données (logiciel adapté).
- chromatographie :
 - CPG : chromatographe en phase gazeuse à programmation de température avec injecteur split/splitless, détecteur TCD ou FID, colonnes capillaires et système informatique de traitement des données.
 - HPLC : chromatographe liquide haute performance avec pompe isocratique, avec vanne d'injection, détecteur UV, colonnes et système informatique de traitement des données ; cuves à ultrasons.

GÉNIE CHIMIQUE : OBJECTIFS DE FORMATION

Cet enseignement comporte trois aspects différents formant un tout : **théorie, schématisation, travail pratique sur installations à caractère industriel**. Il est donc important que le professeur enseignant la théorie, enseigne également le schéma et les travaux pratiques où tous les aspects interviennent.

OBJECTIF DE LA FORMATION

L'objectif est de former des techniciens supérieurs Chimistes capables de s'intégrer (après une classique période d'adaptation) dans une équipe de production.

Les étudiants doivent donc :

- **Comprendre** un procédé de fabrication.
- **Connaître** le matériel industriel et les appareils les plus courants (pompes, échangeurs, réacteurs, colonnes, etc...) comportant ou non des automatismes ou des régulations.
- **Savoir utiliser** ces appareils, c'est-à-dire, connaître leur principe de fonctionnement et les calculs qui s'y rapportent.
- **Savoir travailler** en équipe et tenir un tableau de marche.
- **Savoir identifier** et maîtriser les risques liés aux matériels, aux installations et aux procédés.
- **Connaître et respecter** les règles de sécurité et les contraintes environnementales.

MOYENS

Ceci ne peut se faire que si l'on dispose d'un matériel de **TYPE INDUSTRIEL** qui permet donc d'utiliser les techniques spécifiques différentes de celles d'un laboratoire de chimie (transferts des fluides par pompe ou par vide, chauffage à la vapeur, agitation, régulation, etc...).

Il est donc important de compléter les installations en verre (utilisé pour son aspect didactique) par des installations en acier (inox par exemple) ou tout autre matériau utilisé dans l'industrie, pour apprendre à cerner les phénomènes non visibles, grâce aux mesures effectuées. Il est souhaitable que les installations comportent des régulations en laissant une certaine autonomie au conducteur de l'appareil.

Il faut également prohiber au maximum les chargements de produits par seau, béciers ou autres récipients pour des quantités importantes.

MATÉRIEL

Pour pouvoir couvrir les aspects les plus importants de cet enseignement, il faudra disposer **OBLIGATOIREMENT** au moins des huit postes suivants.

- Un appareillage polyvalent comportant notamment un réacteur de 10 litres au moins, avec chargement par vide ou par pression, et systèmes de chauffage et refroidissement industriel.
- Une installation de rectification en discontinu.
- Une installation de rectification en continu.
- Un banc de dynamique des fluides permettant d'étudier une pompe, des pertes de charge, des mesures de débits.
- Un banc d'étude d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur permettant d'établir des bilans énergétiques.
- Une extraction par solvant en continu : soit extraction liquide-liquide, soit liquide-gaz (l'existence des deux étant cependant souhaitable).
- Une installation comportant un évaporateur.
- Une installation comportant un cristalliseur.

Ces installations seront complétées par d'autres. dans le cadre du programme de génie chimique.

- Traitement de l'eau (résines, membranes).
- Filtration.
- Séchage.
- Fluidisation.
- Extraction solide-liquide.
- Ébulliométrie (pour déterminer les courbes d'équilibre liquide-vapeur).

OBJECTIFS GÉNÉRAUX DES TRAVAUX PRATIQUES DE GÉNIE CHIMIQUE

1) - Connaissances

- Identifier à l'aide de schémas et de l'installation elle-même, les différents éléments et leurs liaisons.
- Connaître le principe de fonctionnement et les caractéristiques importantes des appareils utilisés.
- Comprendre le procédé grâce à un mode opératoire.
- Intégrer l'analyse des dysfonctionnements et de leurs conséquences prévisibles.
- Savoir mettre en marche, faire fonctionner et arrêter une installation en suivant les règles de sécurité.
- Effectuer les mesures permettant de suivre le fonctionnement en prenant conscience de la précision et des limites de ces mesures.
- Réaliser les analyses de suivi du procédé.
- Effectuer les calculs demandés en relation avec les cours théoriques.

2) - Communication.

- Savoir tenir un tableau de marche.
- Savoir travailler en équipe (passages de consignes, connaissance du travail effectué par les autres membres de l'équipe).
- Savoir rédiger un compte rendu comportant les feuilles de marche, les résultats des analyses, les calculs demandés, les commentaires et conclusions ainsi que les risques principaux et les consignes de sécurité générales ou particulières.
- Savoir expliquer oralement, en cours d'opération, ce qui a été fait, ce qui se fait, ce qui reste à faire.

ÉVALUATION

Les installations étant différentes d'un centre à l'autre, pour l'examen il est **obligatoire, sauf cas exceptionnel validé par l'inspection générale**, que les étudiants ne passent leur épreuve de TP que dans l'atelier où ils ont suivi leur scolarité. On ne peut demander en effet à un candidat de découvrir une installation correspondant à une opération donnée, le jour même de l'examen (chacune a ses particularités propres, même si elles se ressemblent globalement).

De façon à harmoniser et homogénéiser les notations, il est souhaitable de ne pas se limiter à noter les résultats obtenus (la difficulté n'étant pas la même pour une fabrication que pour une manipulation à caractère répétitif), mais de tenir compte également de :

- * la façon de travailler : propreté, sécurité individuelle et collective, participation au travail d'équipe, organisation ;
- * le dynamisme, l'esprit d'initiative, l'autonomie ;
- * la façon de manipuler, la qualité des mesures ou des résultats obtenus ;
- * la participation au compte-rendu et au tableau de marche.

GÉNIE CHIMIQUE : LA SÉCURITÉ.

L'enseignement du génie chimique est particulièrement propice à la sensibilisation aux problèmes de sécurité, l'apprentissage des règles élémentaires, la mise en pratique de consignes générales ou particulières.

En effet, le professeur enseignant cette discipline (que ce soit en classes de 1^{ère}, terminale STL-CLPI ou BTS), est amené en général, à dispenser à la fois les cours et travaux dirigés théoriques, le schéma d'installation (lecture et conception) et les travaux pratiques en atelier type demi-grand ou pilote.

Cet atelier doit comporter normalement des installations qui devraient donner un aperçu de la réalité industrielle (nature du matériel et des matériaux, quantités ou débits, fluides de service, techniques utilisées notamment pour le transfert des fluides, travail en équipe sur procédés continus ou discontinus, présence d'automatismes).

Les trois aspects de cet enseignement peuvent permettre des approches différentes des problèmes de sécurité, du point de vue de la sécurité de l'opérateur devant son poste, que de la protection de l'environnement et de la protection des appareils

Les COURS, les TD et la SÉCURITÉ.

On ne peut guère qu'y donner des règles générales quitte à renvoyer à des exemples pratiques qui seront vus en TP.

Par exemple.

- “Traduction” en termes de risques et donc de sécurité, de certaines propriétés physiques des corps : volatilité, tension de vapeur, chaleur de vaporisation, limites d'explosivité, solubilité dans l'eau, etc...
- Risques chimiques dus à la toxicité, à la réactivité de certains corps avec les fluides courants tels que l'eau ou l'air ou avec d'autres réactifs particuliers (réactions particulièrement rapides et exothermiques).
Mise en évidence des problèmes d'inertage ou de protection de l'environnement (fuites, traitement des effluents).
- Risques au point de vue thermique : exothermicité, emballement (importance du système de refroidissement et de sa fiabilité).
- Risques à caractères généraux :
 - protection contre le feu (matériel antidéflagrant dit ADF, ventilations normales et de secours, protection individuelle, rôle de l'électricité statique dans le transfert des fluides inflammables et surtout des poudres combustibles divisées);
 - mises à la terre, protection des machines tournantes, équilibrages des machines tournant à grandes vitesses.

Le SCHÉMA et la SÉCURITÉ.

Le schéma permet l'étude d'un procédé d'après un descriptif. Un bon schéma est celui qui décrit une installation sensée fonctionner correctement.

Il permet d'une part de se pencher sur des problèmes plus précis de sécurité au niveau du procédé (choix du réacteur, choix de la méthode de séparation, problèmes de dilution, d'exothermicité, d'emballement, de création de produits parasites nocifs ou gênants).

D'autre part, lors de la schématisation de l'installation, vont intervenir certains problèmes liés à la pratique (relations entre les différents appareils, robinetterie, boucles de régulations, respirations, traitements des effluents).

Les TRAVAUX PRATIQUES et la SÉCURITÉ.

Les installations sont souvent modulaires et n'ont pas la complexité d'installations de production réelles, cependant ceci a l'avantage, par l'intermédiaire d'une progression pédagogique faisant d'abord intervenir des manipulations à caractère répétitif (comportant souvent beaucoup de mesures), de faire apparaître des problèmes de plus en plus complexes y compris au niveau de la sécurité.

C'est à cette occasion que les étudiants vont être confrontés à la réalité (par l'intermédiaire d'un mode opératoire précis sur une installation réelle ou par l'intermédiaire des erreurs qu'ils pourraient commettre !). Ils auront à suivre des consignes au point de vue de la protection individuelle (la présence de fiches toxicologiques, par exemple, disponibles dans l'atelier leur permettra de connaître les risques présentés par les produits qu'ils auront à manipuler et il est indispensable que le compte rendu comporte au moins un résumé des caractéristiques importantes de ces produits).

Ils auront des consignes à suivre lors des transferts des fluides ou des solides, des problèmes de chauffage ou refroidissement, des vérifications de l'appareillage (mise en respiration ou sous une pression donnée par exemple).

Ils auront à travailler en équipe ce qui doit se traduire par l'apprentissage du travail en équipe, de la tenue d'un tableau de marche, du passage de consignes, du respect de l'environnement de travail et du personnel (soin et propreté, organisation du poste de travail).

Un travail au laboratoire d'analyse et de contrôle permet une autre approche notamment par l'intermédiaire des quantités de produits mis en œuvre.

GÉNIE CHIMIQUE : PLAN GÉNÉRAL.

- 1 - SCHÉMA DE PROCÉDÉ ET RÉGULATION
- 2 - MÉTHODE DES BILANS - RÉACTEURS
- 3 - CIRCULATION DES FLUIDES
- 4 - TRANSFERT DE CHALEUR - PRODUCTION DE CHALEUR ET DE FROID
- 5 - ÉVAPORATION - CRISTALLISATION - SÉCHAGE
- 6 - DISTILLATION
- 7 - EXTRACTION :
 - EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE
 - EXTRACTION SOLIDE-LIQUIDE
 - ABSORPTION-DESORPTION
- 8 - SÉDIMENTATION - FILTRATION
- 9 - TECHNIQUES ET SÉPARATIONS DIVERSES

1^{ère} PARTIE : SCHÉMA DE PROCÉDÉ ET RÉGULATION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>1 - 1 - APPROCHE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS, ET DU GÉNIE DES PROCÉDÉS.</p> <p>Définitions du génie des procédés et du génie chimique. Opérations continues et discontinues. Notions d'opérations unitaires.</p> <p>Schéma de principe et plan de circulation des fluides. Schéma de procédé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Réaliser, à partir d'une description écrite (et éventuellement d'un schéma de principe), le schéma de procédé comportant : <ul style="list-style-type: none"> – les tuyauteries et ses accessoires ; – les appareils de déplacement des fluides les pompes, compresseurs etc...); – les appareillages principaux en coupe simplifiée ; – les appareils de mesure, contrôle et régulation ; – les organes de sécurité. ◆ Analyser la sécurité du procédé : <ul style="list-style-type: none"> – savoir lire et utiliser un schéma de fabrication d'une installation réelle et prévoir les conséquences de certains dysfonctionnements ; – savoir lire, interpréter et utiliser un schéma de fabrication en terme de production et de sécurité.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>1 - 2 - CONTRÔLES ET RÉGULATION.</p> <p>RÔLE des différents éléments d'une boucle de régulation</p> <ul style="list-style-type: none"> - capteurs : - transmetteurs ; - actionneur. <p>On introduira la notion de sécurité positive (position normalement ouverte ou normalement fermée d'une vanne de régulation) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - signaux standards (analogique, pression-intensité et numérique). <p>PRINCIPE DES RÉGULATIONS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tout ou rien. - Proportionnelle. - Proportionnelle intégrale. - Proportionnelle intégrale dérivée. - Régulation de rapport. - Régulation en cascade. 	<ul style="list-style-type: none"> - En utilisation de boucles de régulation sur installations de fabrication ou de séparation. - Banc d'étude des boucles de régulation. 	<p>L'objectif est triple :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ justifier la nécessité (ou non) de placer une régulation en un point d'une installation. ◆ connaître le vocabulaire de base d'une boucle de régulation, de façon à permettre le dialogue avec le personnel d'instrumentation ; <ul style="list-style-type: none"> - grandeur réglée, - grandeur réglante, - grandeur perturbatrice. ◆ indiquer les limites et les dysfonctionnements possibles (influence du temps mort, de l'inertie du système...). <p>Aucun calcul ne peut être demandé à l'examen.</p> <p>La régulation de rapport ou en cascade sera traitée uniquement à l'occasion de schéma ou de TP.</p>

2^{ème} PARTIE : MÉTHODE DES BILANS - RÉACTEURS.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2 - 1 - DIVERSES EXPRESSIONS DE LA COMPOSITION D'UN MÉLANGE.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition des titres massique, molaire et volumique. - Conversion mutuelle des concentrations (mol/L ou g/L) en titres. - Définition du rapport massique, du rapport molaire. 		
<p>2 - 2 - BILAN MATIÈRE - RÉACTIONS CHIMIQUES.</p>		
<p>Représenter une vue synoptique du problème (schéma de principe)</p> <p>2-2-1 - Cas des opérations unitaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilan global - bilan partiel en chacun des constituants. - Calculs des quantités de matière à l'entrée et à la sortie d'une opération unitaire : <ul style="list-style-type: none"> - opérations discontinues, - opérations continues. 	<p>Ces notions peuvent être exploitées à l'occasion des TP de fabrication ou de séparation.</p>	<p>Après une initiation élémentaire à la méthode des bilans, cet enseignement donnera lieu à des applications au cours des deux années dans le cadre des TD et des TP de génie chimique.</p> <p>On utilisera des notations "parlantes" ; usuelles (R comme reflux, L comme liquide, C comme cristaux etc...) plutôt que des notations générales (ex : F_i, x_i, ...), car on traite souvent de mélanges binaires.</p> <p>Les notations générales pourront être vues en conclusions (méthodologie générale).</p> <p>LA PRATIQUE DE L'ÉQUILIBRAGE DES RÉACTIONS CHIMIQUES EST SUPPOSÉE ACQUISE.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2-2-2 - Cas des réacteurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étude de réactions chimiques, discontinues ou continues en régime permanent. - Calcul des quantités de réactifs à introduire et des produits formés. - Bilan matière - calculs avec recyclage et purge ; * définition du TAUX DE CONVERSION τ d'un réactif. - Étude de synthèse avec formation de sous produit ; * définition de la SÉLECTIVITÉ σ d'une réaction. - Etude d'un procédé de fabrication avec recyclage des réactifs n'ayant pas réagi ; * calcul du RENDEMENT η ; • au niveau du réacteur, • sur l'ensemble du procédé de fabrication. - Notion de temps de passage des produits dans le réacteur. 		<p>Réactions simples ou deux réactions consécutives ou concurrentes.</p> <p>La présentation des différents types de réacteurs sera faite à l'occasion des schémas de procédés et des études particulières de bilans lors de réactions chimiques, (choisir des exemples diversifiés de réacteurs en phase liquide, en phase gaz, avec catalyseur).</p> <p>Les risques des différents types de réacteurs seront précisés (chargement, étanchéité, agitation).</p> $\tau = \frac{\text{nombre de moles transformées du réactif}}{\text{nombre de moles de réactif introduit}}$ $\sigma = \frac{\text{nombre de moles transformées en produit principal}}{\text{nombre de moles transformées total}}$ $\eta = \frac{\text{nombre de moles transformées en produit principal}}{\text{nombre de moles transformées du réactif introduit}}$ <p>L'étude des réacteurs exclut tous calculs fondés sur la cinétique de la réaction ainsi que sur le dimensionnement des appareils.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2 - 3 - BILAN ÉNERGÉTIQUE</p> <p>2-3-1 - Cas des opérations unitaires. Calcul des quantités d'énergie à fournir ou à éliminer pour les opérations discontinues ; calculs des flux énergétiques pour les procédés continus.</p> <p>2-3-2 - Cas des réacteurs. Calcul de l'énergie (ou du flux énergétique) à fournir ou à éliminer pour maintenir un réacteur à température constante dans le cas d'une réaction endothermique ou exothermique dont la variation d'enthalpie est fournie.</p>		<p>Lors de l'établissement des bilans énergétiques, on utilisera la capacité thermique massique ou molaire moyenne, dans l'intervalle de température considéré. Les chaleurs latentes de changement d'état seront fournies, ainsi qu'éventuellement les enthalpies (molaires, massiques).</p> <p>On analysera l'influence de ces différents paramètres sur la sécurité du procédé (emballage, maintien d'une température optimale, ...).</p>

3^{ème} PARTIE : CIRCULATION DES FLUIDES.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>3 - 1 - GÉNÉRALITÉS.</p> <p>3-1-1 - Notions de pression (absolue, effective, dépression) - unités.</p> <p>3-1-2 - Statique des fluides et applications (mesures de pressions - décantation continue dans un décanteur florentin - colonne barométrique).</p> <p>3-1-3 - Poussée d'Archimède et applications (niveau à flotteur - densimètres).</p> <p>3-1-4 - Notions de débits (volumique, massique, molaire) - unités pratiques.</p>	<p>L'utilisation des appareils de mesures de pression et de densité ne fera pas systématiquement l'objet d'une séance de manipulations mais pourra être utilement «dispersée» dans d'autres manipulations.</p>	<p>Tant sur le plan théorique que sur le plan pratique ces notions générales sont a priori :</p> <ul style="list-style-type: none"> - presque totalement inconnues des élèves titulaires du Bac S, - théoriquement bien connues de ceux qui sont originaires de la section STL - option CLPI. <p>Cette partie du programme devra donc être essentiellement traitée en séances de travaux dirigés.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
3 - 2 - DYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS INCOMPRESSIBLES.		
<p>3-2-1 - Théorème de Bernoulli.</p> <p>3-2-2 - Application à la mesure des débits à l'aide de débitmètres déprimogènes.</p> <p>3-2-3 - Notions de mise en circulation de liquides dans des installations ne comportant pas de pompe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - écoulement par gravité, - déplacement par pression d'air ou de gaz inerte, - chargement par action du vide. 	<p>L'étude expérimentale du fonctionnement des débitmètres peut-être faite à l'occasion de travaux pratiques si l'établissement est équipé de l'installation adaptée.</p> <p>L'étude de ces méthodes de mise en circulation ne fera pas l'objet d'une manipulation exclusivement consacrée à ce sujet, mais elles seront largement intégrées aux travaux pratiques de fabrications et de séparations au cours desquelles le transvasement manuel par seau et entonnoir devrait être exclu.</p>	<p>On insistera sur les risques liés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au stockage (fuites, surpressions, ...) ; - à la circulation des fluides, fuites, projections, électricité statique (polarité des fluides, mise à la terre).
3 - 3 - DYNAMIQUE DES FLUIDES RÉELS.		
<p>3-3-1 - Notion de viscosité. Fluides newtoniens. Rhéologie.</p> <p>3-3-2 - Régimes d'écoulement : nombre de Reynolds.</p> <p>3-3-3 - Ecoulement d'un fluide réel incompressible :</p> <ul style="list-style-type: none"> - notions de pertes de charge, - pertes de charge régulières, - rugosité, - coefficients de frottement (utilisation du diagramme de Moody), - pertes de charges singulières - accessoires de canalisation, - coefficients de pertes de charge et longueurs droites équivalentes, - lectures d'abaques. <p>3-3-4 - Théorème de Bernoulli appliqué à un fluide réel.</p>	<p>L'étude expérimentale des pertes de charge par frottement et par traversée «d'accidents» est indispensable.</p> <p>Application à l'agitation.</p>	<p>Tenir compte de ce que savent déjà les titulaires du Bac STL - option CLPI.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
3 - 4 - PERTES DE CHARGES AU COURS DE LA TRAVERSÉE D'UN SOLIDE POREUX.		
Applications à la fluidisation, aux colonnes à garnissage, à la filtration.	Ces phénomènes peuvent être étudiés à l'occasion de travaux pratiques .	Tous les établissements n'étant pas équipés pour réaliser ces manipulations, cette rubrique ne saurait donner lieu à un exercice au cours de l'épreuve écrite.
3 - 5 - MISE EN MOUVEMENT DES LIQUIDES A L'AIDE DE POMPES.		
<p>3-5-1 - Application du théorème de Bernoulli :</p> <ul style="list-style-type: none"> - hauteur à fournir dans le circuit ; - courbe de réseau ; - calcul de la puissance à fournir au fluide. <p>3-5-2 - Calcul de la pression à l'aspiration de la pompe. Problèmes de cavitation. NPSH disponible.</p> <p>3-5-3 - Appareillage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pompes volumétriques, - pompes alternatives, - pompes rotatives, - pompes doseuses, - pompes centrifugeuses, <ul style="list-style-type: none"> - accessoires (garnitures d'étanchéité - soupape de sécurité - pots anti-bélier). 		<p>On étudiera le fonctionnement d'un modèle de chaque type de pompe ; on analysera les problèmes d'utilisation posés et on en déduira les solutions apportées, les limites et le domaine d'utilisation de chaque modèle.</p> <p>Sécurité liée aux machines tournantes.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>3-5-4 - Caractéristiques d'une pompe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - courbes caractéristiques : hauteur manométrique - puissance - rendement - NPSH requis ; - loi de similitude - influence de la vitesse de rotation. <p>3-5-5 - Calcul du point de fonctionnement.</p>	<p>Cette rubrique fera l'objet d'au moins une séance de travaux pratiques</p>	<p>Cette rubrique a déjà été étudiée par les élèves titulaires du Bac STL - option CLPI.</p> <p>L'établissement d'une courbe de réseau ne pourra pas être demandé à l'examen.</p> <p>Détermination graphique.</p>
<p>3-6 - CIRCULATION DES FLUIDES COMPRESSIBLES.</p>		
<p>3-6-1 - Production du vide industriel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - éjecteurs à vapeur - montage en série, - étude du fonctionnement de pompes à vide industrielles, - circuit de vide - réglage et régulation du vide. <p>3-6-2 - Compression et mise en circulation des gaz :</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition du taux de compression, - mise en évidence de la nécessité d'un refroidissement, - principe de fonctionnement et domaine d'utilisation des compresseurs, soufflantes et ventilateurs. 	<p>Utilisation du vide au cours de chargements de réactifs, filtrations et distillations.</p> <p>On n'étudiera qu'un seul exemple de chaque type d'appareil tant pour la production du vide que pour la compression et la mise en circulation des gaz.</p>	<p>A l'examen on n'exigera aucun calcul sur la dynamique des fluides compressibles.</p> <p>Problèmes liés à la pression.</p>

4^{ème} PARTIE :
PRODUCTION ET TRANSFERT DE LA CHALEUR.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>4 - 1 - PRODUCTION DE LA CHALEUR.</p> <p>4-1-1 - Les combustibles : définition des pouvoirs calorifiques, fumigènes, comburivores.</p> <p>4-1-2 - Les chaudières : à tubes de fumée, à tubes d'eau, électriques.</p> <p>4-1-3 - Sécurité des appareils sous pression, réglementation.</p>		<p>Le calcul du pouvoir calorifique d'un combustible ne saurait être demandé à l'examen.</p>
<p>4 - 2 - FLUIDES CALOPORTEURS.</p> <p>4-2-1 - Vapeur d'eau et circuits de chauffage à la vapeur - rôle du purgeur.</p> <p>4-2-2 - Fluides thermiques et circuits permettant leur utilisation.</p> <p>4-2-3 - Risques liés aux défaillances de circuits de chauffage et de refroidissement.</p>	<p>Utilisation du chauffage à la vapeur ou par thermofluide au cours des travaux pratiques de fabrications et distillations</p>	<p>A l'occasion de l'étude des chaudières on pourra utiliser les diagrammes enthalpie - température.</p>
<p>4 - 3 - MODES DE TRANSFERT DE LA CHALEUR.</p> <p>4-3-1 - Conduction - loi de Fourier.</p> <p>4-3-2 - Conduction : – loi de Newton, – exploitation des relations permettant de calculer les coefficients de transfert par convection en fonction des nombres de Reynolds, Nusselt et Prandtl.</p> <p>4-3-3 - Notion sommaire sur le rayonnement - loi de Stefan.</p>		<p>Elle sera donnée sous sa forme différentielle originale mais ne sera utilisée que sous forme intégrée en régime permanent, pour des surfaces planes et cylindriques.</p> <p>Les lois relatives au rayonnement ne sauraient faire l'objet de questions à l'examen.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>4-4 - APPLICATIONS.</p> <p>4-4-1 - Association de conductions et convections (cas de surfaces planes et cylindriques).</p> <p>4-4-2 - Cas du coefficient global d'échange - résistance thermique.</p> <p>4-4-3 - Modes d'échange : – contre-courant, – courants parallèles.</p> <p>4-4-4 - Calculs simples sur les échangeurs.</p> <p>4-4-5 - Calorifugeage.</p>	<p>Une manipulation ou moins sera consacrée à l'étude expérimentale des transferts de chaleur.</p>	<p>Calculs simples ne nécessitant pas de calculs mathématiques itératifs. Calculs faisant intervenir ces coefficients globaux rapportés à des surfaces différentes (cf calorifugeage).</p>
<p>4 - 5 - APPAREILLAGE ET CONDITIONS D'UTILISATION.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Faisceaux tubulaires de différents types. – Double enveloppe. – Serpentin. – Echangeurs à plaques. 		<p>Pour chaque appareil on donnera les conditions d'utilisation, et le détail de ces appareils pourra être vu en schéma.</p>
<p>4 - 6 - PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fluides frigorigènes. – Appareils à compression, appareils à absorption. – Production de glace et d'air liquide. 	<p>Si l'établissement dispose de l'installation, l'étude expérimentale d'un groupe frigorifique sera effectuée.</p>	<p>Aucun calcul ne sera exigé à l'épreuve écrite de l'examen au sujet de cette rubrique.</p>

5^{ème} PARTIE : ÉVAPORATION - CRISTALLISATION - SÉCHAGE.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 1 - ÉVAPORATION.</p> <p>5-1-1 - Principe.</p> <p>– Méthodes d'évaporation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • à simple effet ; • sous pression ordinaire et sous vide ; • évaporation à sec ; • atomisation. <p>– Domaines d'utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mélanges de deux liquides à forte différence de volatilité (cf distillation) ; • concentration de solutions d'un solide dissous dans un solvant. <p>5-1-2 - Calculs.</p> <p>– Bilans matière : titres massiques (on pourra également utiliser les rapports massiques).</p> <p>– Bilans thermiques : utilisation des lois de la calorimétrie et association avec les problèmes de transmission de chaleur - bilans enthalpiques.</p> <p>5-1-3 - Récupération d'énergie.</p> <p>– Recompression mécanique des vapeurs.</p> <p>– Multiples effets.</p> <p>5-1-4 - Appareillage.</p> <p>– Evaporateurs à faisceaux de tubes.</p> <p>– Evaporateurs à couche mince .</p>	<p>Soit en continu, soit plus couramment en discontinu dans des réacteurs polyvalents.</p>	<p>Les enthalpies massiques seront fournies.</p> <p>A traiter en schéma. Pas de calculs à l'examen pour la partie 5-1-3.</p> <p>Un appareil de chaque type.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 2 - CRISTALLISATION</p> <p>5-2-1 - Solubilité d'un solide dans un solvant.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expression en titres massiques et rapports massiques. - Courbes de solubilité en fonction de la température. - Application aux corps donnant des hydrates . <p>5-2-2 - Méthodes de cristallisation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sursaturation, germination, grossissement des cristaux. - Cristallisations par refroidissement, par évaporation, par évaporation adiabatique sous vide. - Paramètres influant sur la solubilité : pH, addition d'un tiers-corps, impuretés. <p>5-2-3 - Calculs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilans matière : <ul style="list-style-type: none"> • cas des sels anhydres ; • cas des sels donnant des hydrates. - Bilans thermiques : pertes thermiques ; chaleurs de cristallisation ; bilans enthalpiques. <p>5-2-4 - Appareillage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareils discontinus. - Appareils continus fonctionnant par évaporation sous vide ou non (adiabatement ou non) et par refroidissement. - Ecailleuses pour produits fondus. 	<p>Cette opération peut être étudiée sur un appareillage spécifique, ou en discontinu sur appareil polyvalent (fabrications diverses).</p>	<p>On fera la relation avec la courbe de solubilité.</p> <p>Utilisation des titres et des rapports massiques.</p> <p>Utilisation des titres massiques (méthode générale). On précisera si la cristallisation est endothermique ou exothermique.</p> <p>Réacteur classique agité muni d'un refroidissement pour le discontinu, type " Oslo " pour les appareils continus.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 3 - SÉCHAGE.</p> <p>5-3-1 - Principe - but - définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Humidité des solides : humidité liée et non liée - hydratation - pression d'équilibre - différence entre séchage et déshydratation. - Humidité des gaz : pressions partielles - tensions de vapeur - pression de saturation - degré hygrométrique (humidité relative) - taux de saturation - températures sèche et humide - enthalpies - volume humide. <p>5-3-2 - Méthodes de séchage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Par conduction - utilisation du vide. - Par convection - utilisation de l'air ou d'un gaz inerte. <p>5-3-3 - Calculs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilans matière en régime permanent : avec ou sans recyclage de gaz. - Bilans thermiques et enthalpiques : en régime permanent. <p>5-3-4 - Appareillage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Discontinu et continu. - Par conduction et par convection. - Par atomisation. 	<p>En fonction de l'équipement local.</p> <p>On insistera sur les risques liés aux séchages des solides pulvérulents : émissions de poussières et explosions.</p>	<p>Définitions et relations reliant ces différents paramètres Calculs par voie normale et par le diagramme de l'air humide comportant l'enthalpie, les humidités absolue et relative, la température sèche.</p> <p>Calculs par voie normale et par le diagramme de l'air humide.</p> <p>On décrira quelques modèles différents en fonction de l'équipement local .</p>

6^{ème} PARTIE : DISTILLATION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6 - 1 - ÉTUDE DES ÉQUILIBRES LIQUIDE-VAPEUR.</p> <p>6-1-1 - Cas de mélanges binaires idéaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Règle des phases. - Loi de Raoult - loi de Dalton . - Courbes isothermes. - Courbes isobares : courbes de rosée et d'ébullition et d'équilibre $y = f(x)$. - Définition de la volatilité (absolue et relative). - Équation de la courbe $y = f(x, \alpha)$, la volatilité relative étant supposée constante. <p>6-1-2 - Cas de mélanges non idéaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mélange zéotropique ; notion de coefficient d'activité. - Mélange homoazéotropique : <ul style="list-style-type: none"> • à température d'ébullition maximale, • à température d'ébullition minimale. - Mélange hétéroazéotropique : <ul style="list-style-type: none"> • à immiscibilité totale, • à immiscibilité partielle. - Etude des isothermes, des isobares et de $y = f(x)$ dans tous les cas. 		<p>Bien que l'étude du corps pur soit supposée connue (tension de vapeur saturante - évolution de la température d'ébullition selon la pression), des rappels peuvent s'avérer nécessaires.</p> <p>Etablir un diagramme en fuseau théorique, à partir des tensions de vapeur saturante.</p> <p>Utiliser un diagramme isobare fourni pour déterminer le nombre de moles dans chaque phase.</p> <p>Calculer le nombre de moles dans chaque phase à l'équilibre, le diagramme isobare étant fourni.</p> <p>Utiliser un diagramme isobare pour déterminer le nombre de phases en présence.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6 - 2 - DIFFÉRENTS TYPES DE DISTILLATION.</p> <p>6-2-1 - Distillation simple.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distillation instantanée (flash) : bilans matière et thermique. - Règle du levier ou des segments inverses. - Etude de la distillation discontinue d'un mélange binaire idéal. - Evolution des titres et des températures. - Entraînement à la vapeur : <ul style="list-style-type: none"> • masse de vapeur nécessaire à l'entraînement ; • bilan énergétique global. <p>6-2-2 - Rectification.</p> <p>6-2-2-1 - Principe - étude à reflux total.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe de fonctionnement d'un plateau théorique. - Détermination du nombre de plateaux théoriques nécessaires : <ul style="list-style-type: none"> • par le calcul (relation de Fenske) ; • par la méthode graphique de Mac Cabe et Thiele ; • efficacité ; • hauteur équivalente à un plateau théorique. 		<p>Calcul par la règle du levier (courbes de rosée et ébullition) et calcul par la droite d'état thermique sur la courbe d'équilibre.</p> <p>On se limitera aux cas où les constituants sont non miscibles.</p> <p>Le calcul par la relation de Fenske ne saurait être demandé à l'examen.</p> <p>Application au calcul du nombre de plateaux réels ou de la hauteur de garnissage.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-2-2-2 - Rectification discontinue.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition du taux de reflux. - Bilan matière sur une opération de rectification discontinue. - Rendement de la rectification. - Bilan matière sur les plateaux : équation de la droite opératoire initiale. - Calcul du taux de reflux minimum en début de rectification. - Différents types de rectification : <ul style="list-style-type: none"> • à taux de reflux constant ; • à qualité de distillat constante. - Evolution de la droite opératoire au cours de la rectification. <p>6-2-2-3 - Rectification continu d'un mélange binaire idéal.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe - bilan matière sur la colonne - rendement de la rectification. - Equation des deux droites opératoires (d'enrichissement et d'épuisement). - Détermination graphique du nombre de plateaux théoriques nécessaires. - Détermination du taux de reflux minimum. <ul style="list-style-type: none"> • Bilans énergétiques : flux thermique à éliminer en tête de colonne. • Flux thermiques à apporter au bouilleur. • Bilans enthalpiques. 		<p>Aucune intégration graphique ne peut être demandée.</p> <p>On se limitera au cas d'une alimentation à la température d'ébullition.</p> <p>On utilisera les valeurs moyennes des C_p pour chaque corps.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-2-2-4 - Rectification de mélanges difficiles à séparer :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cas de mélanges à plus de deux constituants, - cas de formation d'homoazéotrope ; <ul style="list-style-type: none"> • addition d'un tiers corps : <ul style="list-style-type: none"> * rectification azéotropique, * rectification extractive ; • changement de pression, - cas de formation d'hétéroazéotrope à immiscibilité partielle, - couplage de deux colonnes. <p>6 - 3 - APPAREILLAGE.</p> <p>6-3-1 - Bouilleurs. Rôle - différents types selon le type de rectification (discontinue ou continue).</p> <p>6-3-2 - Condenseurs. Rôle - différents types - condenseurs partiel, total.</p> <p>6-3-3 - Caractéristiques d'une colonne de rectification.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rôle d'une colonne. - Efficacité - calcul du nombre réel de plateaux. - Rétention de liquide. - Souplesse d'utilisation. - Notion sur la dynamique d'une colonne : pertes de charges - vitesse optimale de la circulation de la vapeur - engorgement - diamètre de la colonne selon la production et le reflux. 	<p>Il est INDISPENSABLE de prévoir une distillation, un entraînement, une rectification discontinue ET une rectification continue.</p>	<p>Cette partie sera traitée essentiellement dans le cadre du schéma et des bilans-matière.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-3-4 - Différents types de colonnes.</p> <p>6-3-4-1 - Colonnes à plateaux : description - avantages et inconvénients - efficacité.</p> <p>6-3-4-2 - Colonnes à garnissage : description - différents types de garnissage - avantages et inconvénients - hauteur équivalente à un plateau théorique (HEPT).</p> <p>6-3-5 - Appareillages annexes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - échangeurs : <ul style="list-style-type: none"> • préchauffeur sur l'alimentation, • réfrigérants sur le distillat et le résidu ; - mise sous vide, sous pression atmosphérique ou sous $P > P$ ordinaire, de la colonne ; - régulations types sur une installation de rectification ; - analyse de sécurité sur chaque partie de l'appareillage. 		<p>Sortie par gravité du distillat avec l'équilibrage des pressions. Utilisation d'un bac tampon.</p>

7^{ème} PARTIE : EXTRACTION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>7 - 1 - GÉNÉRALITÉS.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définitions : soluté, solvant, diluant, transfert d'un soluté entre deux phases, extrait, raffinat. - Titres massiques, rapports massiques. 		<p>Le lien sera fait avec les opérations d'extraction vues au laboratoire.</p>
<p>7 - 2 - L'EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE.</p> <p>7-2-1 - Représentations graphiques de l'équilibre entre différentes phases d'un mélange ternaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diagramme triangulaire rectangle. - Courbe de partage ou d'équilibre. - Coefficient de partage. <p>7-2-2 - Méthodes d'extraction.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Extraction simple contact. - Extraction à étages multiples. - Extraction à contre courant : <ul style="list-style-type: none"> • bilan-matière ; • détermination du nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele (dans le cas de solutions diluées on utilisera les titres massiques, dans le cas général on utilisera les rapports massiques), débit de solvant minimum. 	<p>Construction d'un diagramme triangulaire - détermination des conodales.</p> <p>Extraction liquide-liquide, en continu ou en discontinu.</p>	<p>Le diagramme triangulaire ne sera pas utilisé pour les extractions à contre courant.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
7-2-3 - Appareillages. – Mélangeur-décanteur ; colonnes agitées, pulsées, à garnissage, à plateaux. – Analyse de sécurité : dysfonctionnement, engorgement, ...		
7 - 3 - L'EXTRACTION SOLIDE-LIQUIDE. – Méthodes d'extraction spécifiques : description de la percolation, la macération, l'infusion, la décoction, l'enfleurage. – Bilan matière. – Appareillage.		Pas de calculs à l'examen.
7 - 4 - L'EXTRACTION LIQUIDE-GAZ. ABSORPTION ET DÉSORPTION		
7-4-1 - Notions théoriques sur l'équilibre liquide-gaz. – Loi de Henry, influence de P et de T, courbe de partage, isothermes.	Absorption ou (et) désorption.	
7-4-2 - Méthodes. – Absorption simple contact. – Absorption à contre-courant : bilan, droite opératoire et détermination du nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele dans le cas de solutions diluées (titres molaires) et dans le cas général (rapports molaires).		
7-4-3 - Appareillage : description, analyse de sécurité et applications ; applications à la protection de l'environnement.		

8^{ème} PARTIE : SÉDIMENTATION - FILTRATION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>8 - 1 - SÉDIMENTATION.</p> <p>8-1-1 - Vitesse limite de chute. – Influence de la surface. – Calcul du débit. – Application à la sédimentation - flocculants. – Applications à l'entraînement et aux transports pneumatiques et hydrauliques - cyclones. – Application à la séparation de particules solides par leur taille et leur masse volumique. – Application aux décanteurs statiques florentins (liquide-liquide).</p> <p>8-1-2 - Décantation centrifuge : principe - sécurité liée aux machines tournant à grande vitesse.</p> <p>8-1-3 - Appareillage. – Décanteur continu (solide - liquide). – Florentin (liquide-liquide).</p> <p>8 - 2 - FILTRATION.</p> <p>8-2-1 - Principe - milieu filtrant. – Influence des différents paramètres : surface de filtration, viscosité du filtrat, différence de pression, épaisseur du gâteau, porosités du support filtrant et du gâteau. – Adjuvants de filtration.</p> <p>8-2-2 - Filtration centrifuge. Principe.</p> <p>8-2-3 - Appareillage. – Filtre sous vide. – Filtre sous pression. – Essoreuse continue.</p>	<p>Sur pilotes d'étude de ces phénomènes ou à l'occasion de certaines manipulations de fabrication.</p> <p>Soit sur banc d'étude de la filtration, soit plus couramment, à l'occasion d'une manipulation de fabrication d'un produit solide.</p>	<p>Chapitre pouvant être traité sous forme de manipulations ou de travaux dirigés.</p> <p>Un exemple de chaque type.</p>

9^{ème} PARTIE : TECHNIQUES DIVERSES.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>9 - 1 - STOCKAGE ET TRANSPORT DES SOLIDES.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silos. - Trémies. - Transporteurs à vis et à bande. - Ecluse rotative. - Transport par fluide. 		A voir en schéma.
<p>9 - 2 - MISE EN CONTACT D'UN SOLIDE ET D'UN FLUIDE.</p> <p>9-2-1 - Définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Granulométrie. - Porosité (fraction de vide). - Surface spécifique. - Dureté. - Friabilité. - Diagrammes de répartition. <p>9-2-2 - Fluidisation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe. - Applications aux réacteurs, fours et sécheurs. <p>9-2-3 - Colonnes à garnissage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe de fonctionnement. - Points de charge et d'engorgement. - Applications aux colonnes de lavage, de neutralisation et de rectification. Utilisation d'abaques pour les pertes de charge. 	<p>Sur pilotes d'étude de ces phénomènes.</p> <p>Sur pilotes d'étude de ces phénomènes ou sur pilotes d'absorption ou de rectification.</p> <p>En fonction des possibilités.</p>	<p>En travaux pratiques et en schéma.</p>
<p>9 - 3 - FRAGMENTATION DES SOLIDES.</p> <p>9-3-1 - Définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Broyage - Concassage - Pulvérisation - Désintégration. 	<p>En fonction des possibilités.</p>	<p>Risques liés aux poussières.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>9-3-2 - Méthodes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compression. - Percussion. - Abrasion. - Cisaillement. - Arrachement. <p>9-3-3 - Appareillage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Broyeurs à marteau et à boulets. 		<p>Étude en schéma lié aux procédés de séparation</p>
<p>9 - 4 - SÉPARATION SOLIDE-GAZ : DÉPOUSSIÉRAGE.</p> <p>Par lavage - par cyclone - par filtration - par procédé électrostatique</p> <p>9 - 5 - ÉCHANGE D'IONS.</p> <p>Principe de fonctionnement des résines échangeuses d'ions. Application au traitement de l'eau.</p>	<p>En fonction des possibilités.</p>	<p>A l'occasion de ce chapitre, on donnera les bases de l'absorption et son application à la chromatographie.</p>
<p>9 - 6 - PROCÉDÉS A MEMBRANE.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Différents types de membranes. - Principe de la perméation. - Principe de l'ultrafiltration. - Principe de la filtration tangentielle. - Principe de la dialyse. - Principe de l'osmose inverse. <p>9 - 7 - FORMULATION.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition. - Rôle des différents additifs (tensioactifs, charges etc...). - Phénomènes physiques mis en jeu. 	<p>En fonction des possibilités.</p>	<p>Description et principe de fonctionnement. Forces motrices mises en jeu. Limites d'utilisation. Comparaison avec d'autres méthodes classiques de séparations. Les calculs ne concerneront que les bilans-matière. Applications à la protection de l'environnement.</p> <p>Les différentes notions pourront être illustrées par un exemple, de façon à montrer les problèmes rencontrés en formulation.</p>

Programme de Physique-Chimie en BCPST 1^{ère} année

Les objectifs généraux de la formation en deux années

La filière BCPST constitue la première étape d'une formation d'ingénieurs et de vétérinaires, reposant sur la connaissance du monde du vivant, sur la compréhension des lois de la matière et sur l'interaction entre l'Homme et son environnement. Les domaines d'activités visés lors de l'insertion professionnelle à l'issue de la formation sont variés et les responsabilités touchent à des secteurs vitaux pour la société, tels que la santé animale, l'agriculture, l'agroalimentaire, l'eau, l'environnement, la prospection minière, l'aménagement du territoire.

L'enseignement de physique-chimie poursuit la construction de **compétences scientifiques**, cognitives et réflexives, déjà ébauchées au lycée. Les étudiants doivent maîtriser la démarche scientifique, être en mesure d'identifier un problème scientifique et de mobiliser les ressources pertinentes pour le résoudre, maîtriser la recherche d'informations et la conduite d'un raisonnement, analyser de manière critique la qualité d'une mesure et les limites d'une modélisation. Pendant cette formation, les étudiants doivent aussi acquérir des **compétences en autonomie et créativité** : autonomie de réflexion et de modélisation, prise d'initiative, recul critique sont propices au développement de l'esprit d'innovation. La formation en physique-chimie contribue aussi à l'acquisition de **compétences organisationnelles et sociales**, notamment lors du travail partagé au sein d'un groupe au cours des activités expérimentales ou documentaires. Et il participe à la consolidation des **compétences de communication**, écrite ou orale.

La formation en physique et chimie en première année

Le programme de physique-chimie de la classe de BCPST1 s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus de vétérinaire, d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en BCPST1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique et de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles étaient le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Les liens de la physique et de la chimie avec les sciences de la vie et de la Terre doivent aussi être soulignés : les exemples choisis par le professeur pour illustrer les enseignements de physique et de chimie doivent être préférentiellement choisis en lien avec la biologie ou les sciences de la Terre. Là aussi c'est l'opportunité de mener d'éventuelles démarches collaboratives avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois composantes :

1. la première décrit les compétences que la pratique de la démarche scientifique permet de développer à travers certaines de ces composantes : la **méthodologie expérimentale**, les **approches documentaires** et la **résolution de problème**. Ces compétences et les capacités associées doivent être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme ; elles continueront à l'être en seconde année ; leur acquisition feront donc l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
2. la deuxième, intitulée « **formation expérimentale** », présente les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin du cycle de formation. Leur mise en œuvre à travers les activités s'appuie sur les problématiques **identifiées en gras** dans la troisième partie et doit faire l'objet d'une programmation de la part du professeur.
3. la troisième concerne la « **formation disciplinaire** », elle décrit les connaissances et capacités que l'étudiant doit maîtriser pour l'essentiel à l'issue de chaque semestre. Elles sont organisées en deux colonnes : à chaque « notion ou contenu » de la première colonne correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la seconde colonne. Cette dernière explicite ainsi le socle de capacités dont la maîtrise par tous les étudiants doit être la priorité absolue du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des

évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre on traite surtout de grandeurs physiques scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on réserve l'introduction de grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche documentaire.

Mise en œuvre de la démarche scientifique

1. Méthodologie expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement.

Ce programme fait donc une large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la partie I est consacrée. Compte tenu du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la partie II (formation disciplinaire), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en annexe de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en annexe du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres composantes du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités (liste non exhaustive)
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale. - définir les objectifs correspondants.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses. - proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - proposer un modèle associé. - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole. - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « Grandeurs et instruments », avec aide pour tout autre matériel. - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - analyser les résultats de manière critique. - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ; o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; o s'appuyer sur des schémas, des graphes adaptés. - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe. - solliciter une aide de manière pertinente. - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, doivent être développées les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les étudiants de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Cette activité est adaptée tant à une évaluation écrite où l'étudiant progresse en complète autonomie qu'à une évaluation orale pouvant s'enrichir d'une interaction avec un examinateur qualifié.

Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

S'approprier le problème	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue (réaction chimique voisine ...).
Etablir une stratégie de résolution (analyser)	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois qui seront utilisées, le type de réaction mise en œuvre, ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Communiquer par écrit ou par oral la solution trouvée afin d'expliquer le raisonnement et les résultats.
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre

	<p>approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, autre voie de synthèse...).</p> <p>Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.</p>
--	---

Des possibilités d'articulation entre la résolution de problème et les autres types de compétences développées existent :

- en lien avec les incertitudes : évaluer ou déterminer la précision de la solution proposée, notamment lorsqu'il s'agit d'une solution approchée sans la surestimer ni la sous estimer ; déterminer ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat.
- en lien avec l'analyse de documents : analyser de manière critique un texte dont l'objet est scientifique ou technique, en mobilisant ses connaissances, notamment sur les valeurs quantitatives annoncées ; vérifier la cohérence des chiffres proposés en développant un modèle simple ; vérifier à l'aide d'un document technique, d'une photographie ... le résultat d'une modélisation.
- en lien avec la démarche expérimentale : l'approche « résolution de problème » peut se prêter à des activités expérimentales pour lesquelles une tâche précise sera demandée sans que la méthode ne soit donnée. Par exemple : mesurer une quantité physique donnée, comparer deux grandeurs, mettre en évidence un phénomène ... ; la vérification d'une modélisation peut être effectuée en réalisant l'expérience (en prédisant quantitativement l'issue d'une expérience, puis en effectuant les mesures pour vérifier les valeurs prédites).
- en lien avec les compétences de communication écrite et de communication orale : adapter le niveau de sa prestation à ses capacités personnelles ; utiliser le support graphique et numérique comme soutien de son argumentation ; rédiger de manière concise et directe une solution qui a souvent été trouvée par un long cheminement ; développer avec conviction une argumentation claire et progressive ; interagir avec un interlocuteur qualifié et faire preuve de réactivité.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne « capacités exigibles » relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" : histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, contribution des sciences à des questions sociétales ou au développement industriel... Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Elles reposent sur l'utilisation d'articles de revues scientifiques spécialisées ou de vulgarisation, de documents extraits de sites institutionnels ou reconnus par la communauté scientifique, d'ouvrages scientifiques de référence, ou encore sur une vidéo, une photo ou un

document produit par le professeur. Elle sensibilise également les étudiants à la diversité des supports de l'information, et au crédit que l'on peut accorder à une information.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

4. Usage de la liberté pédagogique

Le programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant deux grands principes directeurs :

1. pédagogue, il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances et des capacités sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
2. didacticien, il doit savoir recourir à la mise en contexte des connaissances et des capacités : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

Partie I : Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la méthodologie expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans le reste du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Le **bloc A** précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

Le **bloc B** présente de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure en outre en annexe du présent programme.

A. Mesures et incertitudes

Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les étudiants doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les étudiants doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières scientifiques du lycée général et technologique. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les compétences identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	<p>Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique.</p> <p>Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.</p>
<p>Notion d'incertitude, incertitude-type.</p> <p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p>	<p>Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur.</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p>

Incertitude élargie.	<p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
Présentation d'un résultat expérimental.	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Présenter une valeur à l'aide de la notation scientifique adaptée à la précision des mesures et/ou des données.</p>
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

B. Méthodes expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des méthodes expérimentales que les étudiants doivent acquérir au cours des deux années durant les séances de travaux pratiques. Les capacités sont acquises plus particulièrement en liaison avec un thème du programme, ce qui ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul thème.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesure de longueur	Mettre en œuvre une mesure de longueur sur un banc d'optique.
2. Mesure d'un signal électrique Mesure directe d'une tension au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope. Mesure d'une intensité : - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance : - mesure directe à l'ohmmètre ; - mesure indirecte au voltmètre sur un diviseur de tension.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : Distinguer les modes AC et DC. Définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête...) Choisir un calibre adapté en lien avec le nombre de chiffres affichés (nombre de points de mesure). Être informé des problèmes de masse.
3. Visualisation d'une image optique Formation d'une image.	Éclairer un objet de manière adaptée. Reconnaître la nature convergente ou divergente d'une lentille. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement ...). Mesurer la distance focale d'une lentille convergente. Produire un faisceau de lumière parallèle en utilisant l'autocollimation.
4. Mesure en thermodynamique Mesure d'une température. Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre un capteur de température. Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
5. Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes des produits chimiques. Phrases H et P.	Respecter les règles de sécurité. Relever les indications sur le risque associé à la manipulation des produits chimiques et à sa prévention.
6. Impact environnemental Traitement et rejet des déchets chimiques.	Éliminer les composés chimiques de façon adaptée. Choisir, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.
7. Méthodes de titrage et mesures cinétiques Réalisation d'un titrage volumétrique direct ou	Effectuer un titrage. Choisir l'indicateur coloré adapté.

<p>indirect à l'aide d'indicateur coloré de fin de titrage.</p> <p>Tracé et exploitation d'une courbe de titrage acido-basique.</p> <p>Détermination d'une constante thermodynamique .</p> <p>Spectrophotométrie.</p> <p>Suivi cinétique d'une réaction chimique par prélèvement ou in situ.</p>	<p>Déterminer la quantité de matière du réactif titré.</p> <p>Utiliser le conductimètre. Étalonner et utiliser le pH-mètre.</p> <p>Déterminer un pK_a.</p> <p>Choisir la longueur d'onde et la gamme d'absorbance adaptées. Réaliser une courbe d'étalonnage et l'exploiter.</p> <p>Relier la grandeur mesurée à une modélisation cinétique afin de la valider et d'en extraire les constantes caractéristiques. Utiliser un bain thermostaté.</p>
<p>8. Synthèse et analyse</p> <p>Synthèse d'un produit organique : - utiliser un montage à reflux.</p> <p>Extraction d'un produit du milieu réactionnel : - extraire par lavage et décantation. - filtrer sous vide. - évaporer sous vide. - séparer par entraînement à la vapeur.</p> <p>Purification d'un produit : - distiller sous pression atmosphérique ; - recristalliser.</p> <p>Identification et vérification de la pureté : - prendre un point de fusion ; - mesurer un pouvoir rotatoire ; - réaliser une chromatographie sur couche mince ; - analyser des spectres RMN et IR fournis.</p>	<p>Réaliser en autonomie un montage de synthèse organique.</p> <p>Proposer et mettre en oeuvre la technique appropriée à la nature du produit à extraire.</p>

Partie II : Formation disciplinaire

Les thèmes traités en première année

L'enseignement de physique-chimie est organisé en **thèmes**, poursuivant des objectifs de formation décrits par des notions et des capacités exigibles. Dans les thèmes, les illustrations et les exemples s'appuient sur la vie quotidienne, la recherche ou l'histoire des sciences, en balayant les domaines du vivant, de l'environnement ou de l'industrie. La première année est rythmée par dix thèmes, répartis entre les deux semestres, pour lesquels est donnée à titre indicatif une estimation du temps à consacrer.

Semestre 1	I. Thermodynamique chimique	14 h
	II. Signaux physiques, bilans et transports	17 h 12 h
	III. Structure de la matière	6 h
	IV. Optique géométrique	10 h
	V. Introduction à la chimie organique	13 h
	VI. Thermodynamique	
Semestre 2	VII. Thermodynamique	17 h
	VIII. Cinétique chimique	13 h
	IX. Mécanique	20 h
	X. Chimie organique réactionnelle	18 h

Chaque thème poursuit des objectifs de formation spécifique et de transférabilité des compétences acquises. Les **activités documentaires et expérimentales sont précisées au regard des notions et capacités exigibles**, mais leur mise en œuvre est laissée à **l'appréciation pédagogique** du professeur, qui détermine notamment le choix des études de cas. Les techniques d'analyse et de synthèse contenues dans les attendus de la formation sont également précisées dans le corps du programme.

Chaque thème comporte une brève introduction, qui fixe le cadre et les limites d'étude, suivie d'un tableau qui détaille les connaissances et capacités associées. Les notions abordées, qui doivent être connues des étudiants, figurent dans la colonne de gauche. La colonne de droite précise et encadre les capacités exigibles relatives à chaque notion.

En outre l'étudiant doit savoir utiliser l'analyse dimensionnelle.

Notions	Capacités exigibles
Analyse dimensionnelle.	Vérifier l'homogénéité d'une expression littérale à partir d'une analyse dimensionnelle des termes présents. Définir un ordre de grandeur (durée, longueur) par analyse dimensionnelle d'une équation modélisant un phénomène.

Premier semestre

I. Thermodynamique chimique : un système tend à évoluer vers l'équilibre

L'enseignement de thermodynamique chimique est consacré à l'introduction des notions permettant l'analyse des systèmes chimiques homogènes. L'équilibre chimique est introduit comme une donnée expérimentale, et l'existence d'une constante d'équilibre est admise. Les applications sont illustrées par l'étude des réactions acido-basiques et d'oxydoréduction en solution aqueuse.

L'enseignement d'oxydoréduction vise essentiellement à introduire l'oxydation et la réduction en chimie organique, en lien avec le cours de Sciences de la Vie et de la Terre. Il n'induit pas de développement théorique ; les potentiels standard sont interprétés comme une simple échelle de la force des oxydants et des réducteurs, par analogie avec l'échelle des pK_a . Les exemples privilégiés sont en relation avec la biologie, l'agriculture, l'agroalimentaire, l'environnement ou la géochimie.

La partie expérimentale est consacrée à la réalisation et l'interprétation de titrages directs et indirects. Les techniques usuelles de la chimie analytique (prise de volume, pesée, réalisation du montage, utilisation des appareils à l'aide d'une notice simplifiée) doivent être maîtrisées, afin

d'amener progressivement les étudiants à une prise d'autonomie dans l'élaboration et la réalisation de protocoles expérimentaux. Les limites des lois expérimentales sont présentées qualitativement.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Description d'un système chimique en réaction</p> <p>Avancement d'une réaction chimique ; degré d'avancement. Activité ; quotient de réaction. Évolution et équilibre.</p> <p>Transformation quantitative ou limitée.</p>	<p>Écrire un tableau d'avancement.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution d'un système. Déterminer la composition à l'état final. Les outils numériques ou graphiques peuvent être un support à la résolution lorsque la méthode analytique n'est pas aisée. Établir une hypothèse sur l'état final d'une réaction connaissant l'ordre de grandeur de la constante d'équilibre.</p>
<p>2. Réactions acido-basiques</p> <p>Couples acide-base ; acides et bases faibles et forts, constante d'acidité, pH, courbes de distribution et diagrammes de prédominance. Réaction prépondérante.</p> <p>Détermination du pH d'une solution dans des cas simples et réalistes.</p> <p>Tampons acido-basiques. Application aux acides aminés.</p>	<p>Comparer la force des acides et des bases. Lire et exploiter un diagramme de courbes de distribution. Identifier la réaction prépondérante à partir de la composition initiale. Poser les hypothèses adaptées dans le but d'établir la composition d'une solution à l'équilibre. Calculer le pH d'une solution dans le cas d'une unique réaction prépondérante. Établir l'expression littérale du pH en fonction de la concentration initiale dans les cas suivants : acide ou base fort dans l'eau, acide ou base faible en réaction limitée sur l'eau, ampholyte. Vérifier les hypothèses simplificatrices dans le cas d'un acide faible dans l'eau ou d'une base faible dans l'eau.</p> <p>Décrire le comportement d'un acide aminé en fonction du pH.</p>
<p>3. Réactions d'oxydoréduction</p> <p>Oxydant, réducteur, couples rédox ; pile électrochimique.</p> <p>Echelle des potentiels standard.</p> <p>Constante d'équilibre rédox.</p>	<p>Écrire les échanges électroniques pour les couples rédox en chimie organique et inorganique, en liaison avec le cours de biochimie. Utiliser sans démonstration l'expression de la constante d'équilibre en fonction des potentiels standard. Prédire le sens d'une réaction rédox. Déterminer la composition à l'équilibre dans le cas d'une unique réaction prépondérante.</p>

4. Application à la chimie analytique	
<p>Spectrophotométrie. Loi de Beer-Lambert et limite de validité.</p> <p>Conductimétrie. Expression de la conductivité en fonction des concentrations et limite de validité.</p> <p>pH-métrie.</p> <p>Titrages direct et indirect.</p>	<p>Réaliser une mesure d'absorbance.</p> <p>Reconnaître une cellule de conductimétrie. Réaliser une mesure de conductivité.</p> <p>Choisir les électrodes adaptées à la mesure du pH. Réaliser une mesure de pH.</p> <p>Utiliser un indicateur coloré de fin de titrage. Suivre un titrage par pH-métrie ou par conductimétrie.</p> <p>Reconnaître, à partir d'un protocole, la nature d'un titrage. Identifier la ou les équations du titrage et établir les relations entre quantités de matière. Utiliser des courbes de distribution simulées pour analyser un titrage. Calculer le pH aux points particuliers d'un titrage. Modéliser la courbe de titrage pH-métrique et conductimétrique dans un cas simple. Évaluer le caractère successif ou simultané des réactions dans le cas du titrage d'un mélange. Exploiter une courbe de titrage.</p>

II. Signaux physiques, bilans et transports : les phénomènes de transport déterminent l'évolution temporelle et spatiale de grandeurs physiques

Cet enseignement a pour but d'initier les étudiants aux concepts très généraux décrivant des systèmes en interaction avec le monde extérieur, par échange ou transport, en évitant tout développement théorique excessif. Il apparaît alors qualitativement que les grandeurs physiques ou signaux dépendent de variables de temps et/ou d'espace, et l'illustration en est donnée dans la continuité du programme de terminale. L'approche transversale des phénomènes de transport vise à mettre en évidence des analogies et à dégager les notions communes de flux, de différence de potentiel, de stock et de résistance. L'étude de circuits électriques simples sert de support, facilement mis en œuvre expérimentalement, à l'illustration de ces notions. Les exemples traités se rapportent aux circuits en régime continu et au régime transitoire du premier ordre, dont le circuit RC constitue le modèle. Des notions de base sur la mesure électrique et sur l'oscilloscope sont nécessaires à l'illustration expérimentale du régime transitoire, mais elles ne sont pas destinées à être étudiées pour elles-mêmes ; seuls les modes de fonctionnement usuels de l'oscilloscope sont présentés.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Signaux physiques</p> <p>Acquisition et traitement de signaux dépendant du temps.</p> <p>Composition de signaux sinusoïdaux.</p> <p>Signal dépendant du temps et d'une coordonnée de l'espace.</p>	<p>Extraire une fréquence. Identifier les régimes permanent, stationnaire, transitoire. Estimer le temps caractéristique d'un signal transitoire. Interpréter le résultat d'une analyse spectrale.</p> <p>Approche documentaire : étudier un exemple d'onde sonore ou d'onde sismique.</p>
<p>2. Bilan macroscopique</p> <p>Volume de contrôle et surface de contrôle.</p> <p>Grandeur intensive et grandeur extensive.</p> <p>Bilan de charge, de matière, d'énergie : Flux de charge, de matière et d'énergie.</p> <p>Équation de bilan avec ou sans création. Loi des nœuds.</p>	<p>Délimiter un système. Reconnaître un système isolé, fermé, ouvert.</p> <p>Définir l'intensité du courant électrique comme débit de charges. Établir un bilan macroscopique.</p>
<p>3. Transport</p> <p>Relation entre flux et différence de potentiel.</p> <p>Transport linéaire : résistance électrique, thermique.</p> <p>Association de résistances en série et en parallèle.</p>	<p>Relier un flux de charge, de chaleur, de matière à une différence, respectivement, de potentiel électrique, de température, de composition. Interpréter le sens du transport.</p> <p>Remplacer une association série ou parallèle de plusieurs résistances par une résistance équivalente.</p>
<p>4. Circuit dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires</p> <p>Tension aux bornes d'un dipôle. Loi des mailles.</p> <p>Sources décrites par un modèle linéaire.</p> <p>Montages diviseurs de tension et de courant.</p> <p>Puissance électrique.</p>	<p>Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Appliquer les lois de Kirchhoff.</p> <p>Modéliser une source non idéale par un modèle de Thévenin ou de Norton.</p> <p>Reconnaître un diviseur de tension ou de courant dans un montage.</p> <p>Mesurer l'impédance d'entrée d'un oscilloscope.</p>

<p>Transport thermique et de transport de matière en régime stationnaire.</p>	<p>Calculer la puissance électrique et reconnaître le comportement récepteur ou générateur d'un dipôle dans un circuit. Exprimer la puissance électrique dissipée par effet Joule.</p> <p>Faire l'analogie entre le transport thermique ou le transport de matière d'une part et le transport de charges d'autre part.</p>
<p>5. Régimes transitoires du premier ordre</p> <p>Condensateurs.</p> <p>Modélisation des régimes transitoires par un circuit RC.</p> <p>Stockage et dissipation de l'énergie.</p>	<p>Relier la tension et la charge, et la tension et l'intensité pour un condensateur. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur. Interpréter la continuité de la tension aux bornes du condensateur. Analyser le comportement d'un condensateur en régime permanent.</p> <p>Etablir l'équation différentielle de la réponse d'un circuit RC à un échelon de tension et la résoudre.</p> <p>Réaliser un montage permettant de visualiser à l'oscilloscope la charge et la décharge d'un condensateur</p> <p>Maîtriser l'analogie entre le bilan d'énergie dans un circuit RC et un bilan particulaire ou thermique en régime transitoire.</p>

III. Structure de la matière

Cet enseignement illustre, sans prétendre à l'exhaustivité, l'organisation de la matière de l'échelle atomique à l'échelle supramoléculaire. Il explicite des concepts sur la structure des atomes, dont la finalité est d'une part de présenter le phénomène de radioactivité et d'autre part de pouvoir lire et utiliser la classification périodique. La structure des molécules est envisagée sous le seul formalisme de Lewis, et leur géométrie dans le cadre du modèle de Gillespie. Les propriétés électroniques des molécules sont traitées dans le but d'interpréter la structure et la réactivité en chimie organique et en biochimie. Selon la même démarche, l'étude des interactions intermoléculaires constitue essentiellement un support à l'interprétation qualitative de protocoles expérimentaux en chimie organique, mais il accompagne également les notions vues en sciences de la vie et de la Terre.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Noyau atomique</p> <p>Composition. Isotopie. Stabilité des noyaux.</p> <p>Principe de la fission. Radioactivités α, β^+, β^- et γ. Décroissance radioactive.</p>	<p>Commenter les ordres de grandeur des énergies mises en jeu dans les unités adaptées.</p> <p>Écrire le bilan d'une réaction nucléaire.</p> <p>Approche documentaire : mettre en évidence le rôle des isotopes radioactifs dans le domaine médical ou dans celui de la radioprotection.</p>
<p>2. Structure électronique des atomes</p> <p>Quantification de l'énergie dans les atomes ; lampes spectrales.</p> <p>Notion de fonction d'onde et densité de probabilité de présence ; application à l'électron. Nombres quantiques orbitaux. Représentation géométrique des OA s et p. Spin électronique ; nombre quantique de spin. Principe de Pauli. Règles de remplissage. Électrons de cœur et électrons de valence.</p> <p>Structure du tableau périodique ; familles. Électronégativité.</p>	<p>Interpréter l'existence des longueurs d'onde d'émission à l'aide d'un diagramme d'énergie.</p> <p>Déterminer à l'aide de la règle de Klechkowski la configuration électronique fondamentale d'un atome et en déduire celle de ses ions usuels. Construire un schéma de remplissage des sous-couches de valence et déterminer le nombre d'électrons célibataires</p> <p>Relier la structure électronique d'un élément et sa place dans la classification. Extraire des informations (Z, A, électronégativité ...) à partir d'une classification périodique légendée.</p>
<p>3. Liaison covalente</p> <p>Modèle de Lewis. Hypervalence du soufre et du phosphore. Géométrie des molécules en théorie VSEPR.</p> <p>Caractéristiques de la liaison covalente : longueur, énergie, polarité.</p> <p>Polarité des molécules.</p>	<p>Établir la structure de Lewis de molécules simples.</p> <p>Représenter les structures courantes de type AX_nE_m avec $n + m = 2$ à 6 Commenter l'ordre de grandeur des longueurs de liaison. Comparer les densités de probabilité de présence et les énergies dans les liaisons sigma et pi. Déterminer si une molécule est polaire ou apolaire.</p>
<p>4. Délocalisation électronique et aromaticité</p> <p>Mésomérie. Conjugaison et conséquences structurales.</p> <p>Aromaticité ; critère de Hückel.</p>	<p>Écrire les formules résonnantes d'une molécule. Utiliser la mésomérie et la conjugaison pour interpréter la géométrie et la réactivité.</p>

<p>5. Interactions de faible énergie</p> <p>Interaction de Van der Waals. Liaison hydrogène ; directivité.</p>	<p>Comparer les ordres de grandeurs des énergies mises en jeu (liaison covalente, liaison hydrogène, liaison de Van der Waals).</p> <p>Approche documentaire : mettre en évidence l'importance des interactions de faible énergie pour la structure tridimensionnelle des molécules ou des systèmes biologiques.</p>
---	---

IV. Optique géométrique

L'enseignement d'optique géométrique vise à sensibiliser les élèves aux principes fondamentaux de la propagation de la lumière, en vue de reconnaître les phénomènes lumineux et de comprendre le fonctionnement des instruments d'optique utilisés dans la vie courante et en biologie. Cet enseignement est fortement adossé à la pratique expérimentale qui repose sur l'utilisation de nombreux dispositifs.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Lois de Descartes</p> <p>Propagation de la lumière dans un milieu transparent, homogène et isotrope. Indice optique.</p> <p>Notion de rayon lumineux.</p> <p>Lois de Descartes pour la réflexion et la réfraction. Miroir plan ; stigmatisme et aplanétisme.</p>	<p>Relier l'indice optique et la vitesse de propagation dans le milieu. Utiliser le principe du retour inverse de la lumière.</p> <p>Etablir la condition de réflexion totale. Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.</p>
<p>2. Lentilles minces</p> <p>Conditions de Gauss.</p> <p>Lentilles minces : centre, foyers principaux, plans focaux, distance focale, vergence.</p> <p>Formule de conjugaison avec origine au centre. Grandissement transversal.</p> <p>L'œil : modèle optique, notion de punctum remotum et de punctum proximum.</p>	<p>Enoncer les conditions permettant un stigmatisme et un aplanétisme approché.</p> <p>Relier un objet et son image (situés à distance finie ou infinie) à l'aide des rayons. Maîtriser les notions d'objet et d'image virtuels.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal pour des systèmes à une ou deux lentilles.</p> <p>Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de focale variable et d'un capteur fixe. Interpréter les défauts de l'œil, et leur correction.</p>

3. Visualisation d'une image optique	
Formation d'une image. Focométrie. Réalisation de montages.	Éclairer un objet de manière adaptée. Reconnaître le caractère divergent ou convergent d'une lentille, et évaluer sommairement la distance focale d'une lentille convergente. Mesurer la distance focale d'une lentille convergente. Utiliser le principe d'autocollimation. Réaliser en autonomie un montage permettant de visualiser un objet proche ou éloigné.

V. Introduction à la chimie organique

Cette partie introductive à la chimie organique reste descriptive, l'aspect mécanistique des réactions n'étant abordé qu'au deuxième semestre. Les compléments de stéréochimie s'inscrivent dans la continuité des notions introduites en classe de terminale. L'importance de la structure tridimensionnelle des molécules est illustrée par d'exemples tirés du monde du vivant.

Le chapitre sur les solvants est l'occasion de sensibiliser les étudiants aux problèmes de toxicité humaine et environnementale et à la notion de chimie verte.

La présentation des différentes fonctions chimiques permet d'avoir une vue d'ensemble des groupes fonctionnels les plus courants qui seront rencontrés dans la suite du cours. L'utilisation de données spectroscopiques (UV visible, infra-rouge et résonance magnétique nucléaire du proton), s'appuie sur les connaissances acquises en Terminale.

Notions	Capacités exigibles
1. Stéréochimie Ecriture semi-développée et topologique. Représentation spatiale des molécules : Cram, Newman, perspective. Conformations des alcanes linéaires et du cyclohexane. Glucopyranoses ; anomérie ; existence de la mutarotation du glucose. Carbone asymétrique, chiralité, énantiométrie, diastéréoisométrie. Descripteurs stéréochimiques Z/E, R/S, D/L Activité optique, pouvoir rotatoire, loi de Biot. Mélange racémique.	Représenter une molécule à partir de son nom, en tenant compte d'informations stéréochimiques, dans un type de représentation donnée. Discuter la stabilité relative de deux conformations d'un alcane. Représenter le conformère le plus stable d'un cyclohexane monosubstitué. Manipuler des modèles moléculaires. Déterminer si une molécule est chirale Identifier les relations de stéréoisométrie entre deux composés. Comparer les propriétés de deux stéréoisomères de configuration, en milieu chiral et non chiral. Déterminer les descripteurs stéréochimiques dans les cas simples. Utiliser la loi de Biot pour discuter de la pureté énantiomérique d'un mélange. Illustrer l'importance de la structure spatiale par des exemples tirés du monde du vivant.

	<p>Approche documentaire : illustrer et analyser le rôle de la diastéréoisomérisation lors de synthèses énantiosélectives, de séparations d'énantiomères et dans le monde du vivant.</p>
<p>2. Solvant</p> <p>Rôle du solvant. Exemples : solvants apolaires, polaire aprotique et polaire protique</p>	<p>Faire le lien entre les propriétés du solvant et les interactions intermoléculaires. Interpréter qualitativement la méthode de l'extraction liquide-liquide. Approche documentaire : expliciter le choix du solvant en faisant un lien à la toxicité et donner une illustration dans le domaine de la chimie verte.</p>
<p>3. Acido-basicité et oxydo-réduction en chimie organique</p> <p>Échelle de pK_a généralisée.</p> <p>Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique.</p> <p>Présentation des principales fonctions organiques par degré d'oxydation : – halogénoalcane, alcools, alcènes, – composés carbonyles, – acides carboxyliques et dérivés.</p> <p>Chaîne d'oxydation des alcools.</p> <p>Dihydroxylation des alcènes. Coupure oxydante des alcènes..</p> <p>Exemples de réducteurs utilisés en chimie organique.</p>	<p>Connaître l'utilisation de solvants autre que l'eau pour former des bases fortes. Connaître le caractère acide ou basique de : acide carboxylique, alcool, amine, H en α de groupe électroattracteur. Écrire l'équation-bilan de la formation d'un alcoolate par action du sodium ou de l'ion hydroxyde.</p> <p>Distinguer oxydation complète et oxydation ménagée. Écrire les équations-bilan d'oxydation : – d'un alcool primaire en aldéhyde, – d'un aldéhyde en acide carboxylique, – d'un alcool secondaire en cétone.</p> <p>Écrire l'époxyde obtenu par action d'un acide peroxy-carboxylique sur un alcène Écrire le diol obtenu par ouverture d'un époxyde en milieu basique. Écrire le diol obtenu par action du permanganate sur un alcène. Écrire le bilan de la coupure oxydante par action de l'acide périodique sur un diol.</p> <p>Écrire l'équation-bilan de la réduction d'un composé carbonyle en alcool par $NaBH_4$. Écrire l'équation-bilan de réduction d'un alcène en alcane par H_2 et déterminer les stéréoisomères obtenus.</p>

VI. Thermodynamique

L'enseignement de thermodynamique fait suite à celui consacré aux échanges et aux transports. A partir d'une description des états de la matière et des transformations qu'elle subit, il formalise les échanges d'énergie et contribue à les évaluer. Cet enseignement s'organise en deux parties distinctes. La première, dispensée au premier semestre, est consacrée à la description des états de la matière et des paramètres qui la caractérise. La seconde, dispensée au second semestre, propose, d'une part, une présentation plus étoffée du premier principe dont l'introduction a déjà été réalisée en classe de terminale, et d'autre part formalise les notions d'irréversibilité et de réversibilité à l'aide du second principe. Afin de limiter l'utilisation de fonctions de plusieurs variables, les deux principes sont appliqués en première année aux transformations thermodynamiques de phases condensées et aux machines thermiques. C'est l'occasion de réaliser des bilans macroscopiques sur des systèmes modèles. L'objectif est là de dégager le concept de rendement et de sensibiliser l'étudiant à l'impact énergétique d'un dispositif domestique ou industriel.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. États de la matière</p> <p>Phases condensées et phases gazeuses.</p> <p>Notion de température absolue.</p> <p>Modèle du gaz parfait. Mélange idéal de gaz parfaits. Fraction molaire et pression partielle.</p> <p>Gaz réel.</p>	<p>Identifier le caractère peu compressible et peu dilatable des phases condensées. Comparer les ordres de grandeurs caractéristiques des gaz et des phases condensées. Utiliser les échelles de température absolue et de température Celsius.</p> <p>Utiliser l'équation d'état du gaz parfait. Représenter les isothermes en coordonnées de Clapeyron. Interpréter qualitativement le modèle du gaz parfait, sa pression et sa température à l'échelle moléculaire.</p> <p>Faire le lien avec les interactions de faible énergie.</p>
<p>2. Éléments de statique des fluides</p> <p>Pression dans un fluide en équilibre.</p>	<p>Utiliser la relation $dP = -\rho g dz$ pour un fluide incompressible ou compressible dans une atmosphère isotherme, dans un champ de pesanteur uniforme.</p>
<p>3. Changements d'état du corps pur</p> <p>Diagramme de phases en coordonnées (T,P) ; point critique et point triple. Pression de vapeur saturante.</p> <p>Variance.</p> <p>Changement d'état liquide-vapeur ; diagramme</p>	<p>Approche documentaire : illustrer des applications des changements d'état dans les domaines biologiques, géologiques ou dans l'industrie.</p> <p>Interpréter le diagramme (P,V) selon la</p>

(P,V) ; isothermes. Titre en vapeur. Théorème des moments.	variance. Interpréter qualitativement le palier de température associé au changement d'état isobare Calculer à partir d'un diagramme la composition d'un mélange liquide-vapeur à l'équilibre.
---	--

Deuxième semestre

VII. Thermodynamique

Notions	Capacités exigibles
<p>4. Équilibre et transformations thermodynamiques d'un système fermé</p> <p>Équilibre thermodynamique.</p> <p>Transformations thermodynamiques.</p> <p>Réversibilité d'une transformation.</p> <p>Travail et transfert thermique ; puissance mécanique et puissance thermique. Thermostat.</p>	<p>Interpréter les conditions d'équilibre thermique et mécanique.</p> <p>Maîtriser le vocabulaire usuel : isotherme, isobare, isochore, monobare, monotherme, adiabatique.</p> <p>Déterminer l'état d'équilibre final à partir des contraintes imposées par le milieu extérieur. Dégager les critères de réversibilité d'une transformation.</p> <p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p>
<p>5. Premier principe de la thermodynamique en système fermé</p> <p>Contributions à l'énergie d'un système : énergie interne, énergie cinétique macroscopique et énergie potentielle macroscopique.</p> <p>Énergie interne molaire et massique d'une phase condensée Capacité thermique à volume constant.</p> <p>Premier principe en système fermé : $\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = Q + W$</p> <p>Calorimétrie.</p>	<p>Relier l'énergie interne à la température pour une phase condensée.</p> <p>Formuler le premier principe en termes de puissance et sous forme d'un bilan élémentaire.</p> <p>Réaliser un bilan à partir d'une expérience de calorimétrie.</p>

<p>6. Second principe de la thermodynamique en système fermé</p> <p>Entropie ; entropie massique et entropie molaire.</p> <p>Second principe en système fermé ; entropie d'échange ; entropie créée : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créé}}$</p> <p>Identité thermodynamique. Entropie molaire et massique d'une phase condensée.</p>	<p>Interpréter qualitativement l'entropie.</p> <p>Relier la création d'entropie au caractère réversible ou irréversible de la transformation.</p> <p>Relier l'entropie à la température pour une phase condensée. Exprimer et calculer une entropie d'échange et une entropie de création pour une transformation simple.</p>
<p>7. Machines thermiques</p> <p>Machines dithermes réversibles et irréversibles.</p> <p>Moteur thermique, rendement, théorème de Carnot. Efficacité, principe d'une pompe à chaleur et d'un appareil frigorifique.</p>	<p>Distinguer les sources réelles et les sources idéales. Analyser le fonctionnement d'une machine ditherme sur un diagramme (T,S). Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles. Relier les concepts aux dispositifs d'usage courant.</p>

VIII. Cinétique chimique

L'enseignement de cinétique s'inscrit dans le cadre plus large de l'évolution temporelle des systèmes. Il prend appui sur des exemples dans les domaines biologiques et géologiques, mettant en jeu des échelles de temps très variées.

Les éléments de cinétique formelle induisent l'usage d'un formalisme mathématique rigoureux, et la nécessité d'une confrontation du modèle avec des données expérimentales. La résolution analytique se limite aux cas les plus simples de réactions d'ordre 0, 1 et 2, des cas plus complexes devant être traités à l'aide de l'outil numérique.

Cet enseignement permet de réinvestir des compétences expérimentales par le recours aux techniques d'analyse et d'utiliser le formalisme du tableau d'avancement pour le suivi cinétique de la réaction.

La présentation des mécanismes réactionnels, limités aux réactions par stades, est l'occasion de mettre en évidence les notions de catalyse et de catalyseur. En lien avec la chimie organique, cet enseignement présente les notions essentielles d'état de transition, d'intermédiaire réactionnel, de postulat de Hammond et de contrôles thermodynamique et cinétique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Vitesse de réaction</p> <p>Vitesses d'apparition et de disparition ; vitesse spécifique de réaction. Temps de demi-réaction.</p> <p>Ordre de réaction ; réaction avec et sans ordre. Constante de vitesse ; loi d'Arrhenius et énergie d'activation.</p> <p>Détermination d'un ordre.</p>	<p>Utiliser la vitesse volumique pour un réacteur à volume constant.</p> <p>Faire l'analogie avec la loi de décroissance radioactive. Déduire l'énergie d'activation à partir d'une série de données par une méthode graphique ou numérique.</p> <p>Déterminer par une méthode graphique ou numérique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un ordre à l'aide de la méthode différentielle et à l'aide de la méthode intégrale, - un ordre à partir de données sur les temps de demi-réaction, - un ordre global dans un cas de mélange stœchiométrique, - un ordre partiel dans un cas de dégénérescence de l'ordre. <p>Etudier des réactions d'ordre 1 et 2 pour en extraire les ordres partiels, la constante de vitesse et l'énergie d'activation.</p>
<p>2. Mécanismes réactionnels</p> <p>Acte élémentaire et molécularité. Intermédiaires réactionnels ioniques et radicalaires.</p> <p>Étape cinétiquement déterminante, approximation des états quasi-stationnaires, pré-équilibre rapide.</p> <p>Chemin réactionnel et profil réactionnel. Contrôle thermodynamique et contrôle cinétique. Postulat de Hammond</p>	<p>Faire la différence entre un bilan macroscopique et un acte élémentaire. Retrouver le bilan réactionnel à partir d'un mécanisme par stades.</p> <p>Établir une loi de vitesse à partir d'un mécanisme. Repérer un catalyseur dans un mécanisme.</p> <p>Distinguer intermédiaire réactionnel et état de transition. Approche documentaire : expliciter les conséquences du contrôle en synthèse.</p>

IX. Mécanique

L'enseignement de mécanique a pour objet de présenter aux élèves les liens qui unissent les notions de force, de mouvement et d'énergie pour le système simple du point matériel. Reposant sur la maîtrise de grandeurs vectorielles dépendantes du temps, l'enseignement se limite à des modélisations simples dont la résolution formelle reste accessible aux étudiants. Les cas plus complexes, modélisant plus finement la réalité, sont abordés par l'utilisation de l'outil numérique et de logiciels d'intégration.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Cinématique</p> <p>Référentiel. Vecteurs position, vitesse, accélération. Système de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.</p> <p>Loi de composition des vitesses pour le cas de référentiels en translation rectiligne.</p>	<p>Choisir le système de coordonnées adapté à la symétrie. Utiliser les expressions des vecteurs position, vitesse et accélération dans le cas des coordonnées cartésiennes et, pour le mouvement circulaire, dans le cas des coordonnées cylindriques.</p>
<p>2. Dynamique</p> <p>Quantité de mouvement. Principe d'inertie, référentiel galiléen.</p> <p>Forces, principe des actions réciproques.</p> <p>Force d'interaction gravitationnelle, force d'interaction de Coulomb.</p> <p>Forces usuelles à l'échelle macroscopique : poids, force de rappel d'un ressort (en régime linéaire), tension d'un fil, force de frottement fluide, force subie par une charge dans un champ électrique.</p> <p>Deuxième loi de Newton.</p>	<p>Choisir un référentiel adapté au problème.</p> <p>Identifier quelques manifestations de ces interactions.</p> <p>Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel. L'utilisation de l'outil numérique permettra d'aider à leur résolution dans les cas complexes.</p>
<p>3. Énergie d'un point matériel</p> <p>Puissance et travail d'une force.</p> <p>Théorème de l'énergie cinétique.</p> <p>Énergie potentielle et énergie mécanique dans un cas unidimensionnel.</p> <p>Théorème de l'énergie mécanique.</p> <p>Mouvement conservatif à une dimension.</p>	<p>Distinguer force conservative et force non conservative.</p> <p>Démontrer et utiliser le théorème de l'énergie cinétique.</p> <p>Établir l'expression de l'énergie potentielle connaissant la force (dans le cas unidimensionnel). Distinguer le caractère attractif ou répulsif d'une force. Utiliser les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (dans un champ de pesanteur uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.</p> <p>Démontrer le théorème de l'énergie mécanique.</p>

<p>Position d'équilibre ; stabilité.</p> <p>Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable ; approximation locale par un puits de potentiel harmonique.</p>	<p>Déduire d'un graphe d'énergie potentielle la nature de la trajectoire possible : non bornée, bornée, périodique.</p> <p>Déduire d'un graphe la position et la nature stable ou instable des positions d'équilibre</p> <p>Établir l'équation du mouvement à partir de l'énergie mécanique.</p> <p>Reconnaître l'équation d'un oscillateur harmonique non amorti.</p> <p>Relier la période et la dérivée seconde de l'énergie potentielle à l'équilibre.</p>
---	---

X. Chimie organique réactionnelle

L'enseignement de chimie organique décline des familles de réactions plutôt que des familles de composés. De cette manière, il facilite le réinvestissement des connaissances de la classe de terminale sur la réactivité des composés organiques. Il poursuit l'objectif de fournir aux étudiants les outils permettant d'interpréter ou de prévoir la réactivité intermoléculaire dans des conditions données, celles d'un milieu biologique ou d'un milieu de synthèse. La chimie organique permet ainsi d'une part de comprendre des réactions intervenant dans des grands cycles métaboliques, d'autre part de sensibiliser les étudiants à la synthèse totale au laboratoire ou aux réactions industrielles, en gardant à l'esprit que la formation dispensée dans la filière BCPST reste généraliste. Les éléments d'interprétation d'une stratégie de synthèse sont renforcés par l'utilisation de données spectroscopiques (UV, visible, infra-rouge et résonance magnétique nucléaire du proton).

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Additions électrophiles sur les doubles liaisons C=C</p> <p>Bilan et mécanisme de l'addition de HX et H₂O. Régiosélectivité.</p> <p>Bilan et mécanisme de la bromation par le N-bromosuccinimide et évolution en présence d'un nucléophile.</p>	<p>Expliciter la réactivité des alcènes.</p> <p>Utiliser le formalisme des flèches courbes pour décrire un mécanisme en chimie organique. Discuter de la stabilité d'un carbocation. Représenter le profil réactionnel. Utiliser le postulat de Hammond.</p> <p>Mettre en évidence la stéréosélectivité et la stéréospécificité de la réaction.</p>
<p>2. Substitutions nucléophiles</p> <p>Nucléophile et nucléofuge.</p> <p>Les deux mécanismes limite : SN1 et SN2 pour les halogénoalcanes et les alcools Activation des alcools par H⁺ et par le chlorure de tosylate</p>	<p>Expliciter la réactivité des liaisons C-X et C-OH.</p> <p>Identifier les sites électrophiles et/ou nucléophiles d'une espèce chimique. Reconnaître des nucléophiles usuels : ion cyanure, ion alcoolate, amine, ion hydroxyde, eau.</p> <p>Discuter du mécanisme à partir de données cinétiques. Déterminer les stéréoisomères obtenus à</p>

<p>Ouverture d'un époxyde en milieu basique.</p>	<p>l'issue d'une SN. Discuter de la compétition entre les deux mécanismes en fonction de la structure du carbocation. Représenter les profils réactionnels associés à chaque mécanisme Ecrire l'équation-bilan de l'action du chlorure de tosyloxy sur un alcool.</p> <p>Interpréter la stéréochimie de la dihydroxylation d'un alcène. Comparer les diols obtenus à partir d'un alcène via l'époxydation ou par action du permanganate.</p>
<p>3. Élimination</p> <p>Compétition entre SN et E.</p> <p>Régiosélectivité de l'élimination.</p> <p>Mécanismes limites E1 et E2 pour les halogénoalcane et les alcools.</p>	<p>Reconnaître les conditions favorisant l'élimination : température, force et concentration de la base.</p> <p>Déterminer le produit majoritaire de l'élimination.</p> <p>Ecrire les stéréoisomères obtenus à l'issue d'une élimination.</p>
<p>4. Additions nucléophiles</p> <p>Bilan et mécanisme d'une addition nucléophile sur le groupe carbonyle suivie d'une hydrolyse</p> <p>Bilan et mécanisme de l'hémiacétalisation et de l'acétalisation</p>	<p>Expliciter la différence de réactivité de la double liaison C=O et de la double liaison C=C.</p> <p>Expliciter le caractère renversable de l'acétalisation. Utiliser l'acétalisation comme protection de groupe caractéristique.</p>
<p>5. Synthèse organique</p> <p>Règles de sécurité</p> <p>Techniques</p> <p>Chauffage à reflux.</p> <p>Addition d'un réactif au cours d'une réaction. Réaction en conditions anhydres. Suivi d'une réaction.</p> <p>Traitement d'un brut réactionnel.</p>	<p>Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit. Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire.</p> <p>Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique. Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux. Utiliser une ampoule de coulée. Conduire une réaction en milieu anhydre. Réaliser une chromatographie sur couche mince. Réaliser les opérations suivantes : filtration sous pression atmosphérique ou réduite, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un</p>

<p>Séparation et purification.</p> <p>Rendement.</p> <p>Caractérisation</p> <p>Température de fusion, indice de réfraction, pouvoir rotatoire.</p> <p>Lecture de spectres infra rouge.</p> <p>Lecture de spectres RMN : déplacement chimique, couplage scalaire, règle des n+1 uplets.</p>	<p>solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide. Mettre en œuvre la technique de relargage.</p> <p>Mettre en œuvre une distillation fractionnée sous pression atmosphérique et une recristallisation.</p> <p>Définir et calculer le rendement d'une réaction.</p> <p>Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.</p> <p>Identifier des groupes caractéristiques à l'aide d'un spectre IR et d'une table fournie. Retrouver la structure d'une molécule par l'analyse d'un spectre RMN du proton à l'aide d'une table fournie. Suivre une synthèse organique par la lecture de spectres RMN et infra-rouge.</p>
---	---

Annexe : Matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou de version numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- banc d'optique.
- lentilles minces, miroirs plans.
- lampes spectrales et source de lumière blanche.

2. Domaine électrique

- oscilloscope numérique.
- générateurs de signaux continus et générateurs de signaux basse fréquence.
- multimètre numérique.

3. Domaine thermodynamique

- thermomètre, capteur infra-rouge.
- calorimètre.

4. Chimie physique et chimie des solutions

- balance de précision.
- verrerie usuelle graduée et jaugée.
- pH-mètre et électrodes adaptées.
- conductimètre et cellule conductimétrique.
- spectrophotomètre UV-visible.
- bain thermostaté.
- agitateur magnétique.

5. Chimie organique

- verrerie rodée : ballon, réfrigérant, ampoule de coulée isobare ou non.
- ampoule à décanter.
- montage de distillation à pression atmosphérique.
- matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.
- agitateur magnétique chauffant.
- chauffe ballon.
- banc Köfler.
- matériel pour chromatographie sur couche mince.
- lampe UV.
- modèles moléculaires.

Programme de physique-chimie de BCPST 2^{ème} année

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de BCPST s'inscrit dans la continuité du programme de première année. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, il identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de BCPST2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de BCPST2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de

ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de BCPST inclut celui de première année, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de BCPST1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de BCPST2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de BCPST2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.
Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Deux appendices listent le matériel et les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de deuxième année de BCPST. Il complète le matériel rencontré en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences de la vie et de la Terre.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la

mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence ; elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale. - Énoncer une problématique d'approche expérimentale. - Définir les objectifs correspondants.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler et échanger des hypothèses. - Proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - Proposer un modèle. - Choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - Évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole. - Utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel. - Mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ;

	<ul style="list-style-type: none"> ○ utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; ○ s'appuyer sur des schémas, des graphes. <ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - Travailler seul ou en équipe. - Solliciter une aide de manière pertinente. - S'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence ; elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.

Établir une stratégie de résolution (analyser)	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider)	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeur connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeur, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...).
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents.

	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence. - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau. - Trier et organiser des données, des informations. - Tracer un graphe à partir de données. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure, ... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau, ... - Conduire une analyse dimensionnelle. - Utiliser un modèle décrit.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique. - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, ...). - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance.
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger et présenter une synthèse, une analyse, une argumentation, ... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique). - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale. - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques.

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de BCPST2 durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de BCPST1 dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de la deuxième année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

1. Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permette de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au

Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique, optique	prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation de sources lumineuses et d'appareils électriques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2. Méthodes expérimentales

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Solutions aqueuses Titration par complexation, précipitation, oxydoréduction. Piles électrochimiques	Choisir les électrodes adaptées. Repérer les cas où une protection de l'électrode de référence est nécessaire. Analyser les courbes de titrage et identifier les réactions mises en jeu. Déterminer les quantités de matière et les constantes thermodynamiques. Mettre en œuvre une pile pour déterminer des constantes thermodynamiques d'équilibre ou des potentiels standard.
2. Thermodynamique Enthalpie de changement d'état.	Mettre en œuvre une méthode calorimétrique pour déterminer une enthalpie de changement d'état.
3. Dynamique des fluides Porosité et perméabilité. Viscosité.	Mettre en œuvre des dispositifs de mesure de ces grandeurs.
4. Signal Oscillations amorties. Régime sinusoïdal forcé.	Réaliser un montage permettant de visualiser l'évolution temporelle d'une grandeur électrique dans un régime <i>RLC</i> et observer les différents régimes. Mesurer le déphasage entre deux grandeurs. Visualiser, lorsqu'elle existe, la résonance d'un circuit en régime sinusoïdal forcé, et mesurer la largeur de la bande passante.

Filtres.	Mesurer le facteur d'amplification d'un filtre et le déphasage entre les signaux d'entrée et de sortie.
Spectroscopie à réseau.	Régler le spectroscopie à réseau. Sélectionner une longueur d'onde ; mesurer une longueur d'onde.
Effet Doppler.	Réaliser une mesure de décalage de fréquence.
Retard temporel.	Mettre en œuvre une mesure de retard temporel.
5. Chimie organique	
Extraction d'un constituant d'un mélange diphasé.	Réaliser l'extraction d'un constituant dans un mélange à l'aide d'un montage approprié.
Synthèse d'un organomagnésien.	Réaliser la synthèse en respectant les conditions opératoires.

Partie 3 - Contenus disciplinaires

Les thèmes traités en seconde année

Les objectifs de formation en seconde année sont identiques de ceux exposés dans le programme de première année. La seconde année est rythmée par six thèmes pour lesquels il est donné à titre indicatif une estimation du temps à consacrer en cours. Le contenu et le volume des séances de travaux dirigés spécifiques à chaque thème sont à l'initiative de l'enseignant en fonction de sa progression.

	Physique	Chimie
I. Thermodynamique	9 h	35 h
II. Phénomènes de transport	13 h	
III. Signal et rayonnement	14 h	
IV. Mécanique	8 h	
V. Mécanique des fluides	13 h	
VI. Chimie organique		16 h

I. Thermodynamique

L'enseignement de thermodynamique de deuxième année reprend et développe les notions de thermodynamique physique et chimique étudiées en première année. L'enthalpie libre G , considérée comme une fonction de la température, de la pression et des quantités de matière, est introduite pour l'étude des transformations physiques et chimiques à pression et température constantes. L'étude des diagrammes binaires porte sur des diagrammes isobares ; ceux-ci seront fournis ou construits à partir de données expérimentales.

Pour l'étude des équilibres chimiques et des déplacements d'équilibre, plusieurs outils sont introduits : affinité chimique, quotient réactionnel, enthalpie libre de réaction, l'étudiant devant rester libre de travailler avec l'outil qu'il maîtrise le mieux.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Travail des forces pressantes</p> <p>Forces pressantes.</p> <p>Travail des forces pressantes.</p>	<p>Établir un bilan de forces exercées sur la paroi d'un piston mobile.</p> <p>Interpréter la condition d'équilibre mécanique.</p> <p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné (monobare, isobare, isotherme d'un gaz parfait).</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
<p>2. Description des systèmes fermés de composition constante</p> <p>Energie interne d'un fluide compressible. Détente de Joule - Gay-Lussac.</p> <p>Première loi de Joule. Enthalpie. Deuxième loi de Joule. Capacités thermiques dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable. Relation de Mayer.</p> <p>Identités thermodynamiques sur les fonctions U et H.</p>	<p>Relier qualitativement la variation de température lors d'une détente de Joule - Gay-Lussac aux propriétés d'un gaz.</p> <p>Exprimer la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie sous une forme différentielle ou finie.</p> <p>Utiliser les grandeurs molaires et massiques. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne et de l'enthalpie. Déterminer un transfert thermique à partir de la variation de la fonction d'état la plus adaptée.</p> <p>Établir l'expression d'une variation d'entropie dans le système de coordonnées le plus adapté. Démontrer et utiliser la loi de Laplace.</p>
<p>3. Description des systèmes fermés de composition variable</p> <p>Enthalpie libre ; potentiel chimique. Identité thermodynamique sur la fonction G.</p> <p>Relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Potentiel thermodynamique.</p>	<p>Relier les grandeurs V, S et μ aux dérivées partielles de $G(T, P, n)$.</p> <p>Démontrer la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Interpréter l'influence d'une variation de pression ou de température sur le potentiel chimique.</p> <p>Relier la variation de l'enthalpie libre et la création d'entropie lors d'une transformation spontanée à T et P constantes. Établir un critère d'évolution et un critère</p>

<p>Identité d'Euler.</p> <p>Activité d'un constituant.</p>	<p>d'équilibre à partir de l'évolution de G.</p> <p>Exprimer le lien entre l'enthalpie libre d'un mélange et les potentiels chimiques des constituants.</p> <p>Définir l'activité d'un constituant dans un mélange idéal.</p> <p>Exprimer et utiliser le potentiel chimique d'un constituant dans un mélange idéal (phase condensée, gaz) et dans une solution diluée.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter d'applications, au laboratoire, dans l'industrie ou dans le vivant, de l'influence de la pression sur le potentiel chimique.</p>
<p>4. Changements d'état d'un corps pur ou d'un mélange</p> <p>Condition d'équilibre d'un corps pur sous deux phases. Enthalpie de changement d'état. Entropie de changement d'état.</p> <p>Calorimétrie.</p> <p>Construction et lecture de diagrammes d'équilibre de systèmes binaires. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité totale à l'état liquide ; azéotrope. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité nulle à l'état liquide ; hétéroazéotrope. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité totale à l'état solide. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité nulle à l'état solide ; eutectique.</p> <p>Théorème des moments.</p>	<p>Interpréter la condition d'équilibre par une égalité de potentiels chimiques.</p> <p>Relier, pour un équilibre entre deux phases, les grandeurs H, S et V aux grandeurs massiques ou molaires associées et au titre en vapeur.</p> <p>Utiliser la relation entre les entropies molaires (massiques) et les enthalpies molaires (massiques) de changement d'état.</p> <p>Réaliser un bilan enthalpique dans le cas d'un changement d'état.</p> <p>Réaliser des mesures calorimétriques à l'aide d'une méthode électrique ou par mélange.</p> <p>Exploiter un faisceau de courbes d'analyse thermique pour établir l'allure d'un diagramme binaire.</p> <p>Attribuer les différentes zones du diagramme</p> <p>Calculer et commenter la valeur de la variance en un point du diagramme</p> <p>Repérer un point azéotropique ou hétéroazéotropique. Repérer un point eutectique.</p> <p>Expliquer une technique de séparation des constituants d'un mélange à l'aide d'un diagramme binaire isobare (distillation fractionnée, hydrodistillation, entraînement à la vapeur, distillation hétéroazéotropique).</p> <p>Déterminer la composition d'un système en un point donné du diagramme.</p> <p>Mettre en œuvre l'extraction d'un constituant dans un mélange à l'aide d'un</p>

	<p>montage approprié.</p> <p>Approche documentaire : illustrer l'intérêt des diagrammes binaires dans le domaine des sciences de la Terre ou du génie des procédés agroindustriels.</p>
<p>5. Thermodynamique chimique</p> <p>Grandeur de réaction. Etat standard. Enthalpie standard de réaction et entropie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, entropie standard absolue. Loi de Hess.</p> <p>Premier principe appliqué à la réaction chimique. Variation d'enthalpie du système, mesures calorimétriques.</p> <p>Affinité chimique. Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique dont l'évolution spontanée est modélisée par une seule réaction à T et P constants.</p> <p>Enthalpie libre standard de réaction dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. Constante thermodynamique d'équilibre : relation de Van't Hoff.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques.</p>	<p>Déterminer l'enthalpie standard et l'entropie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques. Interpréter le signe de l'enthalpie standard de réaction. Prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p> <p>Réaliser des bilans enthalpiques pour calculer un transfert thermique ou une variation de température au cours d'une réaction.</p> <p>Relier l'affinité chimique et l'enthalpie libre de réaction. Relier l'affinité chimique à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient réactionnel. Relier le sens d'évolution d'un système chimique au signe de l'affinité chimique. Identifier, en utilisant l'affinité ou la comparaison de la constante thermodynamique d'équilibre et le quotient réactionnel, si le système à l'état final se trouve dans une situation d'équilibre chimique ou hors-équilibre chimique.</p> <p>Calculer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des grandeurs standard de réaction. Modéliser l'évolution de la constante thermodynamique d'équilibre avec la température dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Interpréter la valeur d'une variance. Identifier un système de variance nulle ou monovariant.</p> <p>Utiliser l'affinité chimique ou la comparaison du quotient de réaction et de la constante thermodynamique d'équilibre pour interpréter l'influence d'une variation de température, de pression sur un système chimique initialement à l'équilibre.</p>

6. Réactions en solution aqueuse	
Formation de complexes, ligands.	Identifier la formule d'un complexe à partir de son nom systématique, dans le cas de ligands simples.
Constante globale de formation β_n . Constantes de formation successives. Domaines de prédominance. Compétition entre ligands.	Utiliser un diagramme de prédominance fourni pour déterminer la réaction prépondérante. Calculer les concentrations à l'état final dans les cas simples mettant en jeu une unique réaction prépondérante, en faisant les approximations pertinentes. Mettre en œuvre et analyser un dosage complexométrique suivi par un indicateur de fin de réaction ou par potentiométrie.
Influence du pH.	Écrire la réaction de dissociation d'un complexe en milieu acide et calculer sa constante thermodynamique d'équilibre.
Réaction de précipitation d'un composé ionique. Produit de solubilité K_s ; condition de précipitation. Domaine d'existence.	Utiliser la condition de précipitation pour déterminer si une solution est saturée. Établir un diagramme d'existence d'un composé ionique solide.
Solubilité. Facteurs de solubilité : température, ion commun, pH et complexation.	Calculer la solubilité d'un solide connaissant le produit de solubilité. Étudier le déplacement de l'équilibre de dissolution sous l'influence d'un ion commun, du pH ou d'une complexation. Interpréter un diagramme donnant $\log s$ en fonction du pH. Approche documentaire : illustrer l'importance de la complexation et de la précipitation des ions métalliques en géochimie et en biochimie. Mettre en œuvre et analyser un titrage par précipitation suivi par colorimétrie ou par potentiométrie
Oxydoréduction. Potentiel d'oxydoréduction, potentiel standard d'oxydoréduction. Affinité chimique de la réaction d'oxydoréduction.	Relier l'affinité chimique de la réaction d'oxydoréduction à la différence de potentiel entre les deux couples. Connaître la valeur du potentiel standard du couple H^+/H_2 . Déterminer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des potentiels standard.
Formule de Nernst.	
Electrodes, électrodes de référence.	Décrire les électrodes usuelles utilisées au laboratoire : électrode d'argent, électrode de platine, électrode au calomel saturé et sa protection.
Pile	Prévoir les réactions aux électrodes et le sens de déplacement des charges et des ions.

<p>Déplacement d'un équilibre d'oxydoréduction par complexation et précipitation.</p> <p>Influence du pH ; potentiel standard apparent.</p>	<p>Justifier l'évolution du caractère oxydant ou réducteur d'une espèce sous l'effet de la complexation ou de la précipitation.</p> <p>Relier le pouvoir oxydant d'un couple au potentiel standard apparent d'un couple. Faire le lien avec les conditions standard de la biologie.</p> <p>Connaître un exemple de couple oxydant/réducteur intervenant en biologie : NAD^+/NADH</p> <p>Mettre en œuvre et exploiter un titrage d'oxydoréduction suivi par potentiométrie.</p> <p>Mettre en œuvre une pile électrochimique et déterminer expérimentalement une constante thermodynamique d'équilibre.</p>
<p>Lecture de diagrammes potentiel-pH.</p>	<p>Identifier les zones d'un diagramme potentiel-pH</p> <p>Justifier à l'aide de la formule de Nernst la pente d'un segment de droite dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Retrouver la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre ou d'un potentiel standard à partir du diagramme potentiel-pH.</p> <p>Repérer une situation de dismutation dans un diagramme.</p> <p>Identifier les espèces thermodynamiquement stables dans l'eau.</p> <p>Prédire les réactions thermodynamiquement favorisées par superposition de diagrammes potentiel-pH.</p> <p>Justifier un protocole expérimental à l'aide d'un diagramme fourni</p>

II. Phénomènes de transport

Cette partie présente le cadre conceptuel et des applications pratiques des phénomènes de transport. Différents modes de transport sont envisagés : transport de matière ou d'énergie dans un milieu au repos (conduction électrique, thermique, diffusion de matière) et transport convectif de masse et d'énergie. Leur étude se limite au cas du régime permanent.

Est d'abord étudié le transport par conduction dans un milieu immobile ; le flux de charges, de chaleur ou de matière est conditionné par une différence de potentiel électrique, de température ou de concentration. La conduction électrique pourra être illustrée par des transferts de charge en milieu biologique ou en conductimétrie.

Les analogies entre les transports par conduction sont systématiquement exploitées : la notion de résistance thermique est introduite par analogie avec la résistance électrique. De même, l'étude du transport de matière par diffusion est conduite en parallèle avec les approches précédentes, les équations de transport y sont établies par analogie avec la conduction thermique.

Est ensuite abordé le transport de masse et d'énergie par convection. Le bilan d'énergie sur un système ouvert est effectué uniquement pour un régime permanent. Il permet de modéliser les échanges d'énergie dans un élément d'une machine thermique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Flux d'une grandeur extensive</p> <p>Vecteur densité de courant (ou densité de flux). Flux.</p>	<p>Utiliser les expressions des surfaces usuelles (cylindre, disque, sphère). Choisir, en fonction de la symétrie du transport, la surface appropriée à la détermination d'un flux. Exprimer le flux dans le cas de symétries simples (axiales, radiales cylindrique et sphérique).</p>
<p>2. Conduction électrique</p> <p>Conduction électrique. Loi d'Ohm locale. Résistance électrique.</p>	<p>Exprimer la résistance électrique d'un conducteur dans le cas d'un transport de vecteur densité de courant uniforme.</p>
<p>3. Conduction thermique</p> <p>Conduction thermique. Résistance thermique.</p> <p>Loi de Fourier.</p> <p>Diffusivité thermique.</p>	<p>Réaliser une analogie entre la conduction électrique et la conduction thermique. Interpréter une association de résistances thermiques. Établir, dans le cas d'un transport unidirectionnel, un bilan local d'énergie, avec source volumique ou avec échange à travers la paroi. Exprimer le temps caractéristique d'un régime transitoire par analyse dimensionnelle. Établir un bilan global d'énergie dans le cas d'un transport radial cylindrique ou sphérique en régime permanent. Exprimer le champ de température en régime permanent, après avoir proposé des critères plausibles de continuité ou de non divergence.</p>
<p>4. Diffusion de matière</p> <p>Transferts de masse par convection ou diffusion.</p> <p>Loi de Fick.</p>	<p>Citer les deux modes de transfert de masse.</p> <p>Interpréter le transport par diffusion à l'aide du potentiel chimique. Procéder par analogie lors de la réalisation de bilans local ou global entre les phénomènes de conduction thermique et de diffusion de matière, les capacités exigibles étant identiques.</p>
<p>5. Transport de masse et d'énergie par convection</p> <p>Débit massique Bilan global de masse sur un système ouvert.</p>	<p>Justifier le caractère conservatif d'un flux de masse en régime permanent.</p>

<p>Bilan d'énergie en régime permanent sur un système ouvert. Travail utile.</p>	<p>Établir un débit volumique à partir d'un débit massique dans le cas d'un écoulement incompressible.</p> <p>Savoir que le flux convectif d'une grandeur est le produit du débit massique par la grandeur massique correspondante. Formuler le premier principe sur un système ouvert sous forme d'un bilan élémentaire et en termes de puissance.</p>
<p>Machines thermiques.</p>	<p>Appliquer le premier principe en système ouvert et en régime permanent à des éléments simples d'une machine thermique : échangeur thermique, compresseur, détenteur isenthalpique, mélangeur. Réaliser un bilan local sur un échangeur thermique monodimensionnel. Estimer à partir des différents éléments d'une machine pris séparément le travail utile et le transfert thermique en termes de puissances ou de grandeurs massiques. Établir le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique.</p>

III. Signal et rayonnement

De nombreux phénomènes en physique linéaire peuvent être modélisés par un oscillateur électrique amorti. Cet oscillateur joue un rôle central tant par son étude en régime transitoire qu'en régime sinusoïdal forcé. Un des objectifs de cet enseignement est l'acquisition progressive d'un outil mathématique riche et adapté tout en permettant un réinvestissement dans des domaines très divers. Le support que constitue l'approche expérimentale doit donner à l'étudiant les appuis nécessaires à l'assimilation de ces notions.

En complément du chapitre II « Signaux physiques » de première année, l'enseignement de seconde année prolonge les notions abordées par l'étude de filtres électroniques en régime sinusoïdal forcé. Les objectifs ne sont pas ici d'établir la fonction de transfert complexe d'un filtre mais bien de comprendre l'influence de ce dispositif sur un signal électrique périodique et sa capacité à sélectionner une fréquence. De manière symétrique, cette capacité, abordée en électricité avec les filtres, est réinvestie en optique ondulatoire avec l'étude d'un réseau plan dans un montage monochromateur. L'approche du réseau sera exclusivement expérimentale, la formule étant donnée.

Cet enseignement est enfin l'occasion de découvrir l'imagerie par échographie ultrasonore. Cette technique est ici choisie de par son importance parmi l'ensemble des techniques d'imagerie à usage médical. Les propriétés des dioptrés acoustiques seront décrites par analogie avec celles des dioptrés optiques. La constitution d'une image est présentée par la mesure du temps d'écho sur un dioptré acoustique, enrichie par les informations apportées par l'effet Doppler. Les objectifs de cet enseignement sont de familiariser les étudiants avec les principes physiques de constitution d'une image et avec les méthodes modernes de traitement numérique, en lien avec le programme d'informatique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Oscillateurs libres amortis</p> <p>Bobine inductive.</p> <p>Oscillations libres d'un circuit <i>RLC</i>.</p>	<p>Utiliser la relation courant-tension pour une bobine idéale.</p> <p>Connaître la condition de continuité du courant à travers une bobine.</p> <p>Modéliser une bobine réelle par l'association d'une inductance idéale et d'une résistance interne.</p> <p>Établir l'équation différentielle régissant l'oscillateur.</p> <p>Faire le lien avec l'oscillateur mécanique.</p> <p>Identifier la nature du régime : pseudo-périodique ou apériodique.</p> <p>Déterminer le coefficient d'amortissement et la pseudo-période à partir d'un graphe ou de la solution fournis.</p> <p>Montrer que l'oscillateur harmonique est un cas limite de l'oscillateur amorti.</p> <p>Réaliser un montage permettant de visualiser l'évolution temporelle d'une grandeur électrique dans un circuit <i>RLC</i>.</p>
<p>2. Régime sinusoïdal forcé</p> <p>Circuits <i>RLC</i> en régime sinusoïdal forcé. Résonance.</p> <p>Filtres.</p>	<p>Savoir utiliser la notation complexe dans une situation où une équation linéaire intervient.</p> <p>Définir l'amplitude et le déphasage d'une grandeur.</p> <p>Utiliser les impédances associées à un résistor, un condensateur idéal et une bobine idéale.</p> <p>Représenter des schémas équivalents à basse fréquence et à haute fréquence.</p> <p>Utiliser les lois de Kirchhoff et les théorèmes dérivés en régime sinusoïdal forcé.</p> <p>Calculer l'amplitude d'une grandeur électrique.</p> <p>Exprimer la condition pour que deux grandeurs électriques soient en phase.</p> <p>Mesurer le déphasage entre deux grandeurs.</p> <p>Identifier la nature d'un filtre passe-bas, passe-haut ou passe-bande à partir d'une fonction de transfert donnée.</p> <p>Mesurer le facteur d'amplification d'un filtre et le déphasage entre les signaux d'entrée et de sortie.</p>
<p>3. Application à la production et l'analyse de signaux</p> <p>Onde progressive sinusoïdale dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire et non dispersive. Célérité, périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Écrire le signal sous la forme $A \cos(\omega(t-x/c))$ ou $A \cos(\omega(t+x/c))$.</p> <p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p>

Analyse spectrale d'un rayonnement.	Sélectionner et mesurer une longueur d'onde dans le domaine visible à l'aide d'un monochromateur à réseau.
Ondes sonores. Surpression acoustique. Intensité acoustique.	Relier l'intensité acoustique à la moyenne quadratique de la surpression.
Effet Doppler	Démontrer l'expression du décalage Doppler non relativiste de la fréquence dans le cas unidirectionnel. Mettre en œuvre une mesure de vitesse par effet Doppler.
Dioptré acoustique ; réflexion et transmission d'une onde acoustique en incidence normale.	Identifier le dioptré comme l'interface entre deux milieux de célérités différentes.
Imagerie par échographie ultrasonore.	Relier le retard de l'écho ultrasonore à la position du dioptré. Mettre en œuvre une mesure d'écho temporel. Indiquer le principe de formation d'une image par échographie ultrasonore. Indiquer l'apport réalisé par le couplage échographie effet doppler.

IV. Mécanique

L'enseignement de mécanique de deuxième année complète celui de mécanique du point de première année ; il aborde la statique du solide, et traite de l'oscillateur mécanique amorti. L'étude de celui-là est à rapprocher de celle de l'oscillateur électrique amorti. Leurs présentations doivent exploiter les profondes analogies entre oscillateurs mécanique et électrique, et sont conditionnées par les choix pédagogiques du professeur.

Notions	Capacités exigibles
1. Conditions d'équilibre d'un solide Centre de masse d'un solide. Moment d'une force par rapport à un axe fixe. Bras de levier. Condition d'équilibre d'un solide dans un référentiel galiléen.	Définir le centre de masse d'un solide. Algébriser les moments de forces. Exprimer le moment d'une force dans un problème bidimensionnel en utilisant le bras de levier ou une projection appropriée. À partir de situations simples prises dans le domaine biomécanique par exemple, écrire les conditions nécessaires à l'équilibre d'un solide (nullité des résultantes des forces et de la somme des moments).
2. Forces conservatives, énergie potentielle Potentiel d'un champ newtonien : potentiel électrique et potentiel de gravitation.	

Relation entre force et énergie potentielle.	Relier la force au gradient d'énergie potentielle. Démontrer le caractère conservatif d'une force dérivant d'une énergie potentielle.
Oscillations libres et forcées.	Établir l'équation différentielle du mouvement. Faire le lien avec l'oscillateur électrique.

V. Mécanique des fluides

L'enseignement de mécanique des fluides dans la filière BCPST est l'occasion d'apporter des éléments de réflexion nécessaires à la compréhension de phénomènes naturels (météorologie, circulation sanguine...).

Les lois de conservation de la masse et de l'énergie sont présentées sous la forme de bilans globaux sur un volume de contrôle fini. La conservation de l'énergie pour l'écoulement d'un fluide parfait permet d'introduire la notion de charge exprimée en pascal et homogène à une densité volumique d'énergie.

Dans le cadre des écoulements réels, l'enseignement en BCPST privilégie la détermination et l'interprétation de la valeur du nombre de Reynolds. Un des objectifs est ici de pouvoir valider l'utilisation de certaines lois. Les exemples d'écoulements à bas nombre de Reynolds sont choisis dans les domaines des sciences de la vie et de la terre. L'approche expérimentale doit permettre non seulement de maîtriser la manipulation de certains dispositifs simples (manomètres) mais aussi d'adapter à des situations réelles les lois de la mécanique des fluides.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Statique des fluides</p> <p>Particule de fluide, échelle mésoscopique.</p> <p>Densité volumique des forces de pression. Équation de la statique des fluides.</p> <p>Forces pressantes.</p> <p>Poussée d'Archimède.</p>	<p>Établir le lien entre la densité volumique d'une force de pression et le gradient de pression. Établir l'équation locale de la statique des fluides et utiliser le système de coordonnées adaptées à son intégration.</p> <p>Exprimer la force pressante exercée sur une surface plane soumise à une pression uniforme. Démontrer et utiliser le théorème d'Archimède. À partir de situations simples prises dans le domaine des géosciences, utiliser le théorème d'Archimède.</p>
<p>2. Dynamique des fluides</p> <p>Trajectoire. Champ de vitesse, ligne de courant.</p> <p>Bilan d'énergie mécanique.</p>	<p>Identifier le vocabulaire spécifique à la description du mouvement d'un fluide (trajectoire, ligne de courant). Décrire une ligne de courant dans le cas d'un écoulement permanent. Interpréter un document (schéma, photo d'un écoulement) : profil de vitesse, lignes de courant.</p> <p>Établir un bilan d'énergie mécanique dans le</p>

<p>Dynamique des fluides parfaits Relation de Bernoulli. Conservation de la charge.</p>	<p>cas d'un écoulement monodimensionnel et permanent d'un fluide incompressible. Exprimer le travail utile massique dans le cas de l'écoulement d'un fluide parfait.</p>
<p>Mesure d'une vitesse. Tube de Pitot.</p>	<p>Écrire et interpréter la conservation de l'énergie volumique. Utiliser la conservation de la charge le long d'une ligne de courant d'un écoulement permanent d'un fluide parfait et incompressible.</p>
<p>Mesure d'un débit volumique. Tube de Venturi.</p>	<p>Décrire le principe d'un tube de Pitot. Établir la relation donnant la vitesse du fluide.</p> <p>Décrire le principe d'un tube de Venturi. Décrire le principe d'une trompe à eau. Établir la relation donnant le débit volumique d'un liquide ou d'un gaz.</p>
<p>Dynamique des fluides réels Viscosité dynamique ; viscosité cinématique.</p>	<p>Identifier les propriétés des fluides newtoniens soumis à un cisaillement simple plan.</p>
<p>Force tangentielle de viscosité d'un fluide newtonien.</p>	<p>Exprimer le taux de déformation dans le système de coordonnées approprié à la géométrie de l'écoulement. Donner le lien entre la force tangentielle de viscosité et le taux de déformation.</p>
<p>Loi de Poiseuille. Résistance hydraulique.</p>	<p>Établir l'expression du débit volumique dans le cas d'un écoulement dont le profil de vitesse est donné. Définir la résistance hydraulique d'une conduite. Procéder par analogie avec les associations de résistances électriques pour proposer un modèle simplifié de la circulation sanguine. Utiliser la pression motrice dans le cas d'une dénivellation.</p>
<p>Nombre de Reynolds.</p>	<p>Calculer et interpréter le nombre de Reynolds d'un écoulement dans un conduit ou autour d'un obstacle. Connaitre des ordres de grandeur du nombre de Reynolds permettant de différencier les régimes d'écoulements laminaire et turbulent.</p>
<p>Écoulement à bas nombre de Reynolds (écoulements rampants).</p>	<p>Identifier les propriétés des écoulements à bas nombre de Reynolds.</p>
<p>Écoulement dans un milieu poreux. Porosité. Pression effective. Perméabilité. Loi de Darcy.</p>	<p>Définir la porosité d'un milieu. Établir le lien entre la porosité d'un milieu et la perméabilité dans le cadre d'un modèle simplifié de capillaires parallèles.</p>

Mouvement d'une bille dans un fluide newtonien. Loi de Stokes.	Utiliser la loi de Darcy. Utiliser la pression motrice dans le cas d'une dénivellation. Identifier les conditions d'application de la loi de Stokes. Approche documentaire : Illustrer un processus de sédimentation. Mesurer une différence de pression avec un manomètre différentiel. Mettre en œuvre une détermination de porosité et de perméabilité. Mettre en œuvre une détermination de viscosité.
---	--

VI. Chimie organique

L'enseignement de chimie organique poursuit l'objectif de fournir aux étudiants les outils permettant d'interpréter ou de prévoir la réactivité dans des conditions données, celles d'un milieu biologique ou d'un milieu de synthèse. Dans cette optique, les mécanismes d'addition-élimination viennent compléter ceux déjà présentés en première année.

La création de liaisons entre deux atomes de carbone mobilise l'ensemble des connaissances en chimie organique. La vision globale qui en résulte permet de comprendre les étapes apparaissant dans les grands cycles de la biochimie ou dans une synthèse totale. Elle permet également l'élaboration d'une stratégie de synthèse visant à allonger le squelette carboné d'un nombre donné d'atomes. On soulignera que les réactions renversables peuvent être utilisées pour réaliser des séquences de protection/déprotection.

Dans le cadre des préoccupations environnementales, on sensibilisera les étudiants à l'utilisation de matières premières biosourcées et à l'étude des caractéristiques environnementales des produits formés par analyse de leur cycle de vie. Il pourra à ce sujet être proposé aux étudiants l'étude d'une synthèse multiétapes industrielle afin de faire un bilan environnemental s'inscrivant dans le projet de « chimie verte ».

La présentation, limitée, des réactions radicalaires permet de montrer la diversité des processus de formation de liaisons. Il est donc exclu de présenter de façon exhaustive la chimie radicalaire ; celle-ci devra être limitée à des exemples de réactions de biochimie. L'objectif est de pouvoir comprendre un mécanisme par transfert monoélectronique présenté dans un document.

Enfin, on s'appuiera dès que le sujet s'y prête sur les résultats apportés par les méthodes spectroscopiques (UV-visible, infrarouge et résonance magnétique du proton) acquises en terminale et réinvesties en première année BCPST.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Réactions d'addition-élimination</p> Présentation des acide, ester, amide, chlorure d'acyle, anhydride, nitrile. Activation du groupe carboxyle. Synthèse des esters et des amides.	Graduer la réactivité des dérivés d'acide sur une échelle. Écrire l'équation de la réaction de formation d'un chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle sur un acide. Écrire le mécanisme de l'estérification de Fischer et de l'acylation d'un alcool ou d'une amine par un chlorure d'acyle ou un anhydride.

<p>Synthèse d'un ester méthylique avec le diazométhane.</p> <p>Saponification des esters ; mécanisme. Hydratation acide des nitriles et hydrolyse acide des amides ; mécanismes.</p>	<p>Écrire le mécanisme d'obtention d'un ester méthylique en utilisant le diazométhane.</p>
<p>2. Création de liaisons C–C et C=C par utilisation d'un atome de carbone nucléophile</p> <p>Substitution nucléophile et addition nucléophile par l'ion cyanure ; mécanismes.</p> <p>Action d'un organomagnésien sur les composés carbonylés, les esters, le dioxyde de carbone et l'oxirane.</p> <p>Acidité de l'atome d'hydrogène en alpha d'un groupe carbonyle.</p> <p>C-alkylation en position alpha d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite.</p> <p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique aqueux ou alcoolique. Aldolisation (cétolisation) croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme.</p> <p>Crotonisation : déshydratation de l'aldol (cétol) en présence d'une base, mécanisme E_{1cb} ; régiosélectivité.</p> <p>Synthèse malonique.</p> <p>Réaction de Wittig.</p>	<p>Écrire le mécanisme de la réaction de l'ion cyanure sur un composé halogéné. Écrire le mécanisme de l'addition de l'ion cyanure sur un composé carbonylé suivie d'un traitement à pH contrôlé.</p> <p>Justifier l'inversion de polarité sur l'atome de carbone résultant de l'insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Justifier l'utilisation de l'éthoxyéthane ou du tétrahydrofurane comme solvant Écrire les schémas réactionnels sur les composés cités. Mener la synthèse d'un organomagnésien en justifiant les précautions mises en œuvre.</p> <p>Justifier l'acidité de l'atome d'hydrogène porté par un atome de carbone en alpha d'un groupe électroattracteur.</p> <p>Choisir dans le cadre d'une stratégie de synthèse les meilleures conditions de préparation d'un aldol (cétol) issu d'une aldolisation (cétolisation) croisée.</p> <p>Justifier les étapes d'une synthèse malonique à partir des mécanismes étudiés précédemment. Écrire l'équation de la réaction de décarboxylation.</p> <p>Écrire l'équation de la réaction de formation d'un ylure de phosphore. Identifier le dérivé carbonyle et le dérivé halogéné, précurseur de l'ylure, mise en œuvre dans la création de la liaison C=C.</p>

<p>3. Chimie radicalaire</p> <p>Écriture des mécanismes radicalaires.</p> <p>Stabilité des radicaux organiques.</p>	<p>Décrire un transfert monoélectronique par le formalisme des flèches courbes.</p> <p>Ecrire des formes mésomères limite pour le radical $-\text{CH}=\text{CH}-\dot{\text{C}}\text{H}-\text{CH}=\text{CH}-$ et le radical phénoxy.</p> <p>Approche documentaire : étudier une réaction radicalaire en biochimie.</p>
--	---

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée, fournie sous forme de version papier ou de version numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

Domaine optique : et acoustique

- goniomètre
- réseau plan

Domaine acoustique :

- émetteur et récepteur acoustique dans la gamme des ultrasons ou audible

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique-chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu au terme des deux années de formation en BCPST.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels adaptés).

En aucun cas la difficulté des évaluations ne doit porter sur la technique mathématique de résolution.

<p>1. Équations algébriques</p> <p>Système linéaire de n équations.</p>	<p>Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires.</p> <p>Réaliser les opérations élémentaires permettant la résolution du système (multiplication par un scalaire, combinaisons linéaires).</p> <p>Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$.</p>
---	---

Équation non linéaire.	Utiliser l'apport graphique ou numérique pour la recherche des solutions.
<p>2. Équations différentielles</p> <p>Équations différentielles.</p> <p>Équations différentielles linéaires du premier ordre ou du second ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(t)$ et $y'' + ay' + by = f(t)$</p>	<p>Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.</p> <p>Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Établir une équation aux dimensions et Interpréter la signification des coefficients a et b. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(t)$ est constante ou de la forme $A.exp(kt)$. Utiliser la notation complexe lorsque $f(t)$ est de la forme $A.cos(\omega t + \varphi)$. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution et retrouver numériquement, dans les cas simples où $f(t)$ est constante, les coefficients a et b.</p>
Équations différentielles dites à variables séparables.	Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables.
<p>3. Fonctions</p> <p>Fonctions usuelles.</p> <p>Dérivée. Notation dx/dt. Développements limités.</p> <p>Primitive et intégrale.</p> <p>Valeur moyenne.</p> <p>Représentation graphique d'une fonction.</p>	<p>Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle $f(x) = x^a$.</p> <p>Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.</p> <p>Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos, \sin, \cos^2 et \sin^2.</p> <p>Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local.</p>

Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Identifier les différents termes apparaissant dans le développement en série de Fourier d'une fonction périodique. Reconnaitre le terme associé à la valeur moyenne de la fonction.
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaitre l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une parabole.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Donner les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, de l'aire d'un cylindre, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente. En physique-chimie, un formulaire sera mis à disposition dans le cas d'une manipulation de relations trigonométriques.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.
6. Fonctions de plusieurs variables	
Fonctions de plusieurs variables.	Exprimer la différentielle d'une fonction de plusieurs variables en fonction de ses dérivées partielles. Intégrer une expression différentielle lorsque

<p>Éléments différentiels de longueur, de surface et de volume.</p>	<p>les variables x et y sont clairement séparées : $df = A(x)dx + B(y)dy$.</p> <p>Exprimer un élément de longueur en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer un élément de surface en coordonnées cartésiennes et polaires. Exprimer un élément de volume en coordonnées sphériques et cylindriques lorsque les symétries du système réduisent le problème à une seule variable.</p>
<p>Gradient d'un champ scalaire.</p>	<p>Définir le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques. Connaître la composante radiale de l'opérateur gradient en symétrie sphérique. Utiliser le lien géométrique entre le gradient d'une fonction f et les surfaces iso-f.</p>
<p>Intégration d'un champ vectoriel.</p>	<p>Utiliser un système de coordonnées approprié pour le calcul de la circulation d'un vecteur. Utiliser les symétries pour établir le flux d'un champ vectoriel à travers une surface définie.</p>

Programme de Physique – Chimie de la voie MPSI

Le programme de physique-chimie de la classe de MPSI s'inscrit entre deux continuités : en amont, avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer ces sciences aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en MPSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique-chimie, qui toutes peuvent le guider dans l'interprétation et la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment opposées, voire contradictoires, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de l'année de MPSI.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur. Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant deux grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut aussi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique (impédance, facteur de qualité, lois de modulation pour ne citer que quelques exemples).
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral. Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans le reste du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure en outre en appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent

posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'appropriier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type. Évaluation d'une incertitude-type. Incertitude-type composée. Incertitude élargie.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée. Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...). Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs. Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.

<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>
<p>Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.</p>	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme de formation disciplinaire - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie « Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des compétences ci-dessous figure en **appendice 1** du programme.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>1. Mesures de longueurs, d'angles, de volumes et de masses</p> <p>Longueurs : sur un banc d'optique.</p> <p>Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.</p> <p>Angles : avec un goniomètre.</p> <p>Longueurs d'onde.</p> <p>Volume : avec une pipette, éprouvette, fiole, burette. Verrerie jaugée et graduée.</p> <p>Masse : avec une balance de précision.</p>	<p>Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement du viseur entre deux positions.</p> <p>Pouvoir évaluer avec une précision donnée, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.</p> <p>Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette auto-collimatrice.</p> <p>Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p> <p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.</p> <p>Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.</p> <p>Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide ou d'une solution de concentration molaire connue.</p>
<p>2. Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.</p> <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel/Déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.</p>

<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. <p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p> <p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolation, amplification, filtrage ; - sommation, intégration ; <ul style="list-style-type: none"> - numérisation. 	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...). <p>Visualiser la caractéristique d'un capteur à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p> <p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses. Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique. Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p> <p>Élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une conversion A/N et N/A.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...).</p> <p>Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette auto-collimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser quantitativement un spectre à l'aide d'un réseau.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse, un moment d'inertie.</p>	<p>Utiliser une balance de précision. Repérer la position d'un centre de masse et mesurer un moment d'inertie à partir d'une période</p>

<p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>et de l'application de la loi d'Huygens fournie.</p> <p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température : thermomètre, thermistance, ou capteur infrarouge.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>
<p>7. Mesures de pH, de conductance, d'absorbance</p> <p>pH.</p> <p>Conductance et conductivité.</p> <p>Absorbance.</p>	<p>Utiliser les appareils de mesure (pH, conductance, tension, absorbance) en s'aidant d'une notice.</p> <p>Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.</p>
<p>8. Analyses chimiques qualitatives et quantitatives</p> <p>- Caractérisation d'un composé Tests de reconnaissance ; témoin.</p> <p>- Dosages par étalonnage Conductimétrie. Spectrophotométrie.</p> <p>- Dosages par titrage</p> <p>Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés.</p>	<p>Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.</p> <p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.</p> <p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher.</p>

Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la concentration d'une espèce dosée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.
- Suivi cinétique de transformations chimiques	Justifier la nécessité de faire un titrage indirect.
Suivi en continu d'une grandeur physique. Rôle de la température.	Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage. Mettre en œuvre une méthode de suivi temporel. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique - optique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques. Utiliser les sources laser de manière adaptée.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser, notamment dans les domaines de la cristallographie, de la modélisation moléculaire, et plus généralement dans les situations exigeant une représentation tridimensionnelle.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Formation disciplinaire

A. Premier semestre

1. Signaux Physiques

Présentation

Cette partie doit être traitée en totalité avant d'aborder les autres parties du programme. Elle porte sur l'étude des signaux physiques, et plus particulièrement sur celle des signaux sinusoïdaux, qui jouent un rôle central dans les systèmes linéaires. Cette première partie s'appuie sur un spectre large de concepts qui ont été abordés au lycée :

- en classe de seconde : signal périodique et spectre ;
- en classe de première scientifique : énergie électrique, loi d'Ohm, loi de Joule, lentilles minces, longueur d'onde dans le visible, spectres de sources lumineuses ;
- en classe de terminale scientifique : signaux numériques, ondes progressives, diffraction, interférences, effet Doppler, lois de Newton, énergie mécanique, oscillateur amorti.

La familiarité des étudiants avec la plupart des notions abordées dans cette partie doit faciliter la transition vers une physique plus quantitative qu'au lycée, ce qui nécessite une acquisition progressive d'outils nécessaires à la formalisation mathématique des lois de la physique. Les thèmes abordés dans cette partie ont été retenus pour leur caractère motivant ou formateur. Il convient d'introduire progressivement le formalisme en soulignant la richesse des conclusions auxquelles il permet d'accéder. Dans toute cette partie, on ne s'intéresse qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques. Il convient à cet égard d'être conscient que la pratique des circuits électriques ne figure que très peu dans les programmes du lycée.

Objectifs généraux de formation

Cette première partie de programme « Signaux physiques » s'inscrit dans la continuité du programme de Terminale S, tout en amorçant une nécessaire transition vers une formalisation plus approfondie des lois de la physique. À travers les contenus et les capacités exigibles sont développées des compétences qui seront par la suite valorisées, parmi lesquelles :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans l'étude de l'évolution temporelle d'un système physique ;

- comprendre la représentation des solutions dans un portrait de phase ;
- relier linéarité et superposition ;
- interpréter physiquement et savoir reconnaître la forme analytique d'un signal qui se propage ;
- relier conditions aux limites et quantification, conditions aux limites et décomposition en ondes stationnaires ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul.

À l'issue de cette première partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises ; il convient donc de les travailler chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Le **bloc 1** s'articule autour d'un système simple connu, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Oscillateur harmonique	
Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales.</p> <p>Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.</p>

Le **bloc 2** est consacré à la propagation du signal. Il est ici indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite ici à une équation d'ondes. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux signaux dans le signal résultant. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres et de préparer à la quantification de l'énergie en mécanique quantique. La diffraction est abordée de manière purement descriptive et expérimentale, et est envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	<p>Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.</p> <p>Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.</p>
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	<p>Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.</p>
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	<p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p> <p>Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</p>
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p> <p>Utiliser la représentation de Fresnel pour déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.</p> <p>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.</p>
Ondes stationnaires mécaniques.	<p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p> <p>Savoir qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</p>
Diffraction à l'infini.	<p>Utiliser la relation $\sin\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p>

Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.

Le **bloc 3** porte sur l'optique géométrique. Il ne doit pas être enseigné ou évalué pour lui-même, mais doit servir de point d'appui à des approches expérimentales en première année et à l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Optique géométrique	
Sources lumineuses.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	
Indice d'un milieu transparent.	Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	<p>Connaître les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton). Choisir de façon pertinente dans un contexte donné la formulation (Descartes ou Newton) la plus adaptée.</p> <p>Établir et connaître la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</p> <p>Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</p>

L'œil.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. Connaître les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
--------	--

L'introduction au monde quantique fait l'objet du **bloc 4**. Elle s'inscrit dans la continuité du programme de la classe de Terminale scientifique. Elle est restreinte, comme dans toute cette partie « Signaux physiques » à l'étude de systèmes unidimensionnels. La réflexion sur les thèmes abordés ici doit avant tout être qualitative ; toute dérive calculatoire devra être soigneusement évitée. Les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-corpuscule et l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon. Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.
Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Obtenir les niveaux d'énergie par analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification.

Le **bloc 5** pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C, lors des travaux pratiques il est possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuits électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Savoir que la charge électrique est quantifiée. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les

	conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer les ordres de grandeurs des composants R, L, C. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. Évaluer les grandeurs à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.

Les **blocs 6, 7 et 8** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance *a priori* de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre, sur l'exemple d'un signal d'entrée à deux composantes spectrales, le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie. L'étude de régimes libres à partir de portraits de phase est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques. Distinguer, sur un relevé expérimental, régime

	<p>transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir l'évolution du système, avant toute résolution de l'équation différentielle, à partir d'une analyse s'appuyant sur une représentation graphique de la dérivée temporelle de la grandeur en fonction de cette grandeur.</p> <p>Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7. Oscillateurs amortis	
Circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique.</p> <p>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système en utilisant un portrait de phase fourni.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Connaître la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique.</p>

	Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.
Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes.	Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la construction de Fresnel et la méthode des complexes pour étudier le régime forcé en intensité ou en vitesse.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase dans le cas de la résonance en intensité ou en vitesse.</p> <p>À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation.</p> <p>Relier l'acuité d'une résonance forte au facteur de qualité.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
8. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	<p>Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.</p> <p>Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.</p>
Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	<p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à un signal à une ou deux composantes spectrales.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.</p>
Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	<p>Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.</p> <p>Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre...).</p>

2. Mécanique 1

Présentation

Le programme de mécanique de MPSI s'inscrit dans le prolongement du programme de Terminale S où la loi fondamentale de la dynamique a été exprimée en termes de quantité de mouvement, puis utilisée pour l'étude du mouvement du point matériel. L'objectif majeur du programme de MPSI est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (principe d'inertie, loi de la quantité de mouvement, principe des actions réciproques, loi du moment cinétique, loi de l'énergie cinétique). S'agissant du caractère postulé ou démontré, le professeur est libre de présenter tout ou partie de ces lois comme des postulats ou comme des conséquences de postulats en nombre plus restreint. En conséquence, aucune question ne peut être posée à ce sujet. Pour illustrer ces lois fondamentales, il ne s'agit pas de se restreindre à la dynamique du point matériel. Des exemples de dynamique du solide seront introduits (translation et rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen), avec toutefois des limitations strictes : l'étude générale d'un mouvement composé d'une translation dans un référentiel galiléen et d'une rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique ne figure pas au programme.

En première année on se limite à l'étude de la dynamique dans un référentiel galiléen : l'introduction des forces d'inertie est prévue en deuxième année.

Objectifs généraux de formation

Après la partie « Signaux physiques » du programme, qui implique uniquement des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace : il convient d'accorder toute son importance à la marche à franchir pour les étudiants. Par ailleurs, la mécanique doit contribuer à développer plus particulièrement des compétences générales suivantes :

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées ;
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires) ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème ;
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux « petits » angles et système masse-ressort ;
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces par exemple) ;
- prendre conscience des limites d'une théorie (limites relativistes par exemple) ;

- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait intuitivement ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soit pleinement développé, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations modélisées à l'extrême (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

Le **bloc 1** est une approche de la cinématique du point, les exemples étant limités aux mouvements plans, et de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe. Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Si la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue, tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systemes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Exemple 1 : mouvement de vecteur-accélération constant.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps. Obtenir la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Exemple 2 : mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires planes. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.

Le **bloc 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...). Le programme insiste sur le portrait de phase considéré comme un regard complémentaire sur les équations différentielles. Les portraits de phase ne doivent pas donner lieu à des débordements calculatoires : leur construction explicite est donc limitée au cas des oscillations harmoniques au voisinage d'une position d'équilibre. En revanche les étudiants devront savoir interpréter un portrait de phase plus complexe qui leur serait fourni ou qu'ils auraient obtenu expérimentalement ou à l'aide d'un logiciel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Loi de la quantité de mouvement	
Forces. Principe des actions réciproques.	Établir un bilan des forces sur un système, ou plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur une figure. Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Quantité de mouvement d'un point et d'un système de points. Lien avec la vitesse du centre d'inertie d'un système fermé.	Établir l'expression de la quantité de mouvement d'un système restreint au cas de deux points sous la forme $\vec{p} = m\vec{v}(G)$.
Référentiel galiléen. Principe de l'inertie.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accelération constant.
Poussée d'Archimède.	Exploiter la loi d'Archimède.
Influence de la résistance de l'air.	Approche numérique : Prendre en compte la traînée pour modéliser une situation réelle. Approche numérique : Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats fournis par un logiciel d'intégration numérique.
Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple.

	<p>Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.</p> <p>Établir l'équation du portrait de phase (intégrale première) dans ce cadre et le tracer.</p>
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Savoir que la puissance dépend du référentiel.
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.
Énergie potentielle. Énergie mécanique.	Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle).
Mouvement conservatif. Mouvement conservatif à une dimension.	<p>Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.</p> <p>Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p> <p>Expliquer qualitativement le lien entre le profil d'énergie potentielle et le portrait de phase.</p>
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	<p>Identifier cette situation au modèle de l'oscillateur harmonique.</p> <p>Approche numérique : utiliser les résultats fournis par une méthode numérique pour mettre en évidence des effets non linéaires.</p>
Barrière de potentiel.	Évaluer l'énergie minimale nécessaire pour franchir la barrière.

Le **bloc 3**, centré sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	

Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel. Citer une application.
Mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire. Approche documentaire : analyser des documents scientifiques montrant les limites relativistes en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma-1)mc^2$ et $p = \gamma mv$. Citer une application.

3. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation.

Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, l'étude quantitative de l'état final d'un système en transformation chimique est réalisée à partir d'une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. L'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final ; on s'appuiera sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel. Les compétences relatives à cette partie du programme seront ensuite mobilisées régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la partie thermodynamique chimique. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de Terminale, permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de sa loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle voire à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant

abordées pour la première fois en MPSI, il est recommandé de travailler en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques et d'avoir en chimie des exigences progressives dans la maîtrise de cet outil.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique ;
- Distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- Exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle ;
- Proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- Confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

1. Description d'un système et évolution vers un état final

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin, variétés allotropiques Notion de phase. Transformations physique, chimique, nucléaire. Les transformations physiques: diagramme d'état (P , T).	Reconnaître la nature d'une transformation. Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T .
Système physico-chimique	
Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique	
Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Équation de réaction ; constante thermodynamique d'équilibre. Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient réactionnel, critère d'évolution.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée. Déterminer une constante d'équilibre. Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque.

Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.	<p>Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard.</p> <p>Exprimer le quotient réactionnel.</p> <p>Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.</p> <p>Identifier un état d'équilibre chimique.</p> <p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>
---	---

2. Évolution temporelle d'un système chimique et mécanismes réactionnels

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>En réacteur fermé de composition uniforme</p> <p>Vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit.</p> <p>Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction.</p> <p>Temps de demi-vie d'un nucléide radioactif.</p> <p>Loi empirique d'Arrhenius ; énergie d'activation.</p>	<p>Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique.</p> <p>Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit, quand cela est possible.</p> <p>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</p> <p>Exprimer la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée.</p> <p>Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique.</p> <p>Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction.</p> <p>Confirmer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant strictement à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour des radionucléides, aborder par exemple les problématiques liées à leur utilisation, leur stockage ou leur retraitement.</p> <p>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.</p> <p>Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents, découvrir la notion de mécanismes réactionnels</p>

4. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. En première année, on se limite aux principales caractéristiques de la liaison chimique, à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles de description des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- Le modèle de Lewis, vu en terminale, est réinvesti.
- L'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible ;
- La polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première S, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible ;
- La description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces.
- À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :
 - Utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité...) ;
 - Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
 - S'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
 - Appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

1. Classification périodique des éléments et électronégativité

Notions et contenus	Capacités exigibles
Atomes et éléments	
Isotopes, abondance isotopique, stabilité. Ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et du noyau.	Utiliser un vocabulaire précis : élément, atome, corps simple, espèce chimique, entité chimique.
Nombres quantiques n , l , m_l et m_s .	Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.

<p>Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence.</p>	<p>Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électroniques d'un atome donné. Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). Déterminer le nombre d'électrons non appariés d'un atome dans son état fondamental. Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.</p>
Classification périodique des éléments	
<p>Architecture et lecture du tableau périodique.</p> <p>Électronégativité.</p>	<p>Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant. Positionner dans le tableau périodique et reconnaître les métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins, halogènes et gaz nobles. Citer les éléments des périodes 1 à 2 de la classification et de la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique).</p> <p>Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains corps simples. Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne. Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.</p>

2. Molécules et solvants

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des entités chimiques moléculaires	
<p>Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée. Ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente.</p> <p>Liaison polarisée. Molécule polaire. Moment dipolaire.</p>	<p>Établir un schéma de Lewis pour une entité donnée</p> <p>Relier la structure géométrique d'une molécule à l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une molécule ou d'une liaison.</p>
Forces intermoléculaires	
Interactions de van der Waals.	Lier qualitativement la valeur plus ou moins grande

Liaison hydrogène. Ordres de grandeur énergétiques.	des forces intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules. Prévoir ou interpréter les propriétés physiques de corps purs par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène intermoléculaires.
Les solvants moléculaires	
Grandeurs caractéristiques : moment dipolaire, permittivité relative. Solvants protogènes (protiques). Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Justifier ou proposer le choix d'un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la réalisation d'une extraction et aux principes de la Chimie Verte.

B. Deuxième semestre

5. Mécanique 2

Dans le **bloc 4**, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1 Loi du moment cinétique	
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.
Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté ; moment d'inertie.	Maîtriser le caractère algébrique du moment cinétique scalaire. Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni. Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.
Moment d'une force par rapport à un point ou un axe orienté. Couple. Liaison pivot.	Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier. Définir un couple. Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire.
Loi du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen.	Reconnaître les cas de conservation du moment cinétique.
Loi scalaire du moment cinétique appliquée au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement.

	<p>Lire et interpréter le portrait de phase : bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement révolitif.</p> <p>Approche numérique : Utiliser les résultats fournis par un logiciel de résolution numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.</p> <p>Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.</p>
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2 Approche énergétique du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen	
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser la relation $E_c = \frac{1}{2} J_A \omega^2$, l'expression de J_A étant fournie.
Loi de l'énergie cinétique pour un solide.	Établir l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

Le **bloc 5** est motivé par ses nombreuses applications. On se limite à discuter la nature de la trajectoire sur un graphe donnant l'énergie potentielle effective et on ne poursuit l'étude dans le cas d'un champ newtonien (lois de Kepler) que dans le cas d'une trajectoire circulaire. Le caractère elliptique des trajectoires associées à un état lié est affirmé sans qu'aucune étude géométrique des ellipses ne soit prévue ; on utilise dans ce cas les constantes du mouvement (moment cinétique et énergie mécanique) pour exprimer l'énergie de la trajectoire elliptique en fonction du demi-grand axe.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Mouvements dans un champ de force centrale conservatif	
Point matériel soumis à un seul champ de force centrale.	Déduire de la loi du moment cinétique la conservation du moment cinétique. Connaître les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.
Énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné à la valeur de l'énergie mécanique.
Champ newtonien. Lois de Kepler.	Énoncer les lois de Kepler pour les planètes et les transposer au cas des satellites terrestres.
Cas particulier du mouvement circulaire : satellite, planète.	Montrer que le mouvement est uniforme et savoir calculer sa période. Établir la troisième loi de Kepler dans le cas particulier de la trajectoire circulaire. Exploiter sans

	démonstration sa généralisation au cas d'une trajectoire elliptique.
Satellite géostationnaire.	Calculer l'altitude du satellite et justifier sa localisation dans le plan équatorial.
Énergie mécanique dans le cas du mouvement circulaire puis dans le cas du mouvement elliptique.	Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire. Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement elliptique en fonction du demi-grand axe.
Vitesses cosmiques : vitesse en orbite basse et vitesse de libération.	Exprimer ces vitesses et connaître leur ordre de grandeur en dynamique terrestre.

6. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière S du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température *via* la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les élèves ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. Enfin, les élèves ont été sensibilisés à la notion d'irréversibilité en abordant le phénomène de diffusion thermique.

Cette partie se propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, afin d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

S'agissant de l'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire, il s'agit d'une introduction modeste : les étudiants doivent avoir compris pourquoi l'enthalpie intervient mais la démonstration n'est pas une capacité exigible ; il s'agit en revanche d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique, inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Description macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique et macroscopique.	Connaître l'ordre de grandeur de la constante d'Avogadro.
Système thermodynamique.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples d'un gaz réel aux faibles pressions et d'une phase condensée peu compressible peu dilatable.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat. Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits. Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Connaître quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.
Energie interne d'un gaz parfait, capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait.	Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait. Citer l'expression de l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique.
Energie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression. Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v). Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales. Déterminer la composition d'un mélange diphasé

	en un point d'un diagramme (P,v). Expliquer la problématique du stockage des fluides.
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système. Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final. Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat. Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU . Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion...).
Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne. Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T.

	<p>Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p>
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{\text{ech}} + S_{\text{créé}}$ avec $S_{\text{ech}} = \sum Q_i/T_i$.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.
Loi de Laplace.	Exploiter l'extensivité de l'entropie.
Cas particulier d'une transition de phase.	Connaître la loi de Laplace et ses conditions d'application.
	Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.
	Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
	Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.
	Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.
Exemples d'études de machines thermodynamiques réelles à l'aide de diagrammes (p,h).	Utiliser le 1er principe dans un écoulement stationnaire sous la forme $h_2 - h_1 = w_u + q$, pour étudier une machine thermique ditherme.

7. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants, puisque seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de première S. Cette partie s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole.

Le succès de cet enseignement au niveau de la classe de MPSI suppose le respect de ces limitations : cet enseignement n'est pas une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant ;
- utiliser la notion de moment magnétique ;
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur ;
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs ;
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction.

Le **bloc 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de la classe de première S et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur. Une étude plus approfondie de la magnétostatique sera conduite en seconde année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Connaître l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans le **bloc 2. « Actions d'un champ magnétique »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Actions d'un champ magnétique	
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.

Le **bloc 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
<u>Flux d'un champ magnétique.</u>	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<u>Loi de Faraday.</u>	
Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modération de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

Le **bloc 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
<u>Auto-induction.</u>	
Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz.
Étude énergétique.	Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.
	Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
<u>Cas de deux bobines en interaction.</u>	
Inductance mutuelle entre deux bobines.	Établir le système d'équations en régime sinusoïdal

Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
--	--

Le **bloc 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** est centré sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un dispositif de freinage, puis par adjonction d'une force de rappel un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
<u>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.</u> Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Freinage par induction.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
<u>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique.</u> Haut-parleur électrodynamique.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace. Effectuer un bilan énergétique.

8. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Cette partie constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- Effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- Appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Modèle du cristal parfait</p> <p>Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.</p> <p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée.</p> <p>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</p> <p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle.</p>
<p>Métaux et cristaux métalliques</p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle cubique à faces centrées (CFC)</p>	<p>Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p> <p>Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents, découvrir quelques alliages, leurs propriétés et leurs utilisations.</p>
<p>Solides covalents et moléculaires</p>	<p>Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons</p>

	hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants.
Solides ioniques	Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques.

9. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées au lycée, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises au lycée sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension

des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1. Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence. Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions d'oxydo-réduction	
Aspect thermodynamique. Dismutation et médiamutation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.

2. Réactions acide-base et de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réactions acido-basiques <ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac. 	Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions de dissolution ou de précipitation <ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 	

	<p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide. Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>
--	---

3. Diagrammes potentiel-pH

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Diagrammes potentiel-pH</p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données. Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH. Justifier la position d'une frontière verticale. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes. Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau. Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pH du milieu. Prévoir une éventuelle dismutation ou médimutation. Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.</p>

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre

- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermistance, capteur infrarouge
- Calorimètre

4. Chimie

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de MPSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.

Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.
--------------------------	--

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Equations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique.
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^\alpha$, e^x et $\ln(1+x)$, et $\sin(x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.
Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une

	intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.

Courbes planes paramétrées.	Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a.\cos(\omega t)$, $y = b.\cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. Cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Programme de physique-chimie de la voie MP

Le programme de physique-chimie de la classe de MP s'inscrit dans la continuité du programme de MPSI. La formation scientifique de la filière MP s'appuie sur des champs disciplinaires variés : en physique, des compléments sont apportés en mécanique, électronique, thermodynamique, et optique interférentielle ; l'électromagnétisme est abordé de manière approfondie et une découverte structurée de la physique quantique et de la physique statistique est proposée ; la formation en chimie s'organise en deux parties : thermodynamique de la transformation chimique et électrochimie. Le programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de MP, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de MP. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de MP inclut celui de la classe de MPSI, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de MPSI, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de MP. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de MP. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Trois appendices listent le matériel, les outils mathématiques et les outils transversaux que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de MP. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants

seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.

- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences industrielles pour l'ingénieur.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par

exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage. La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint,

	simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance

Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques
--	---

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de MP durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de MPSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de MP.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif et contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de MPSI en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
- Mesures de longueur et d'angles	Mesurer le déplacement du miroir mobile d'un interféromètre de Michelson.
- Mesures de temps et de fréquences Analyse spectrale.	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
- Électricité Filtrage analogique d'un signal périodique. Électronique numérique. Onde électromagnétique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines temporel et fréquentiel. Numériser un signal et utiliser un traitement numérique pour effectuer un filtrage de ce signal. Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.
- Optique Analyser une lumière. Analyser une figure d'interférence. Étudier la cohérence temporelle d'une source.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et repérer sa direction de polarisation. Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre. Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à

	l'aide d'un protocole proposé. Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une radiation et de l'écart $\Delta\lambda$ d'un doublet spectral à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.
- Mécanique	Mesurer un coefficient de frottement.
- Thermodynamique Conduction thermique et rayonnement.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique. Utiliser un capteur dans le domaine des infrarouges.
- Chimie Effectuer des bilans d'énergie. Mesures électriques. Électrochimie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie. Mettre en œuvre des mesures électriques dans un environnement électrochimique. Mettre en œuvre des piles et des électrolyseurs.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique - optique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques. Utiliser les sources laser de manière adaptée.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser, notamment dans les domaines de la cristallographie, de la modélisation moléculaire, et plus généralement dans les situations exigeant une représentation tridimensionnelle.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Partie 3 - Formation disciplinaire

1. Mécanique

Le programme de mécanique de MP vise à compléter les acquis de mécanique du cours de MPSI. Il est structuré en deux sous-parties, la première est consacrée aux changements de référentiels, la seconde à un complément de mécanique du solide.

L'étude des référentiels non galiléens est organisée autour de deux situations : la translation et la rotation uniforme autour d'un axe fixe. L'étude cinématique est l'occasion, pour le professeur, de revenir sur le caractère absolu du temps en mettant cette hypothèse en perspective avec le phénomène de dilatation des durées vu en classe de terminale S. L'accent est mis sur la compréhension qualitative des effets observés, l'évaluation des ordres de grandeurs et les conséquences expérimentales.

L'étude des lois de Coulomb, limitée au seul cas de la translation, permet de mettre en œuvre un mode de raisonnement spécifique et particulièrement formateur, sans pour autant omettre les conséquences expérimentales.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- relier les fondements de la cinématique classique au thème « temps et relativité restreinte » du programme de terminale S ;
- choisir de manière autonome un référentiel d'étude éventuellement non galiléen en évaluant les avantages et les inconvénients de ce choix ;
- donner du sens à l'expression familière « force centrifuge » ;
- discuter dans une situation concrète le caractère approximativement galiléen du référentiel terrestre ;
- conduire l'étude d'un problème avec frottement solide.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Compléments de dynamique du point matériel : référentiels non galiléens	
Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre dans les cas du mouvement de translation et du mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe.	Reconnaître et caractériser un mouvement de translation et un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe d'un référentiel par rapport à un autre.
Vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.	Exprimer le vecteur rotation d'un référentiel par rapport à un autre.
Lois de composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'une translation, et dans le cas d'une rotation uniforme autour d'un axe fixe : vitesse d'entraînement, accélérations d'entraînement et de Coriolis.	Relier les dérivées d'un vecteur dans des référentiels différents par la formule de la dérivation composée. Citer et utiliser les expressions de la vitesse d'entraînement et des accélérations d'entraînement et de Coriolis.
Lois de la dynamique du point en référentiel non	Exprimer les forces d'inerties, dans les seuls cas où

<p>galiléen dans le cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen. Forces d'inertie.</p> <p>Caractère galiléen approché de quelques référentiels : référentiel de Copernic, référentiel géocentrique, référentiel terrestre.</p>	<p>le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.</p> <p>Décrire et interpréter les effets des forces d'inertie dans des cas concrets : sens de la force d'inertie d'entraînement dans un mouvement de translation ; caractère centrifuge de la force d'inertie d'entraînement dans le cas où le référentiel est en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.</p> <p>Utiliser les lois de la dynamique en référentiel non galiléen dans les seuls cas où le référentiel entraîné est en translation, ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen.</p> <p>Citer quelques manifestations du caractère non galiléen du référentiel terrestre.</p> <p>Estimer, en ordre de grandeur, la contribution de la force d'inertie de Coriolis dans un problème de dynamique terrestre.</p>
<p>1.2. Complément de mécanique du solide : lois du frottement solide</p>	
<p>Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.</p> <p>Aspect énergétique.</p>	<p>Utiliser les lois de Coulomb dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.</p> <p>Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.</p> <p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement.</p>

2. Éléments de traitement du signal

Ce thème du programme, décomposé en deux parties, complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de MPSI. La composante expérimentale est forte et les capacités exigibles ont vocation à être principalement développées au cours de séances de travaux pratiques.

Dans la première partie intitulée « signaux périodiques », l'accent est mis sur l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique, l'objectif étant de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter la forme du signal de sortie.

La seconde partie, à vocation uniquement expérimentale, constitue une initiation au traitement numérique des signaux à travers les points suivants : l'échantillonnage et le repliement de spectre, la conversion analogique/numérique et le filtrage numérique. Le phénomène de repliement de spectre est présenté qualitativement au moyen d'illustrations démonstratives, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon afin de réaliser convenablement une acquisition numérique. Un filtrage numérique, du type passe-bas, est réalisé à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique et d'un traitement numérique, un convertisseur numérique/analogique restitue ensuite un signal de sortie analogique.

Objectifs de formation

- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- relier les représentations temporelle et fréquentielle d'un signal ;
- illustrer expérimentalement la condition de Nyquist-Shannon ;
- expliquer et mettre en œuvre un filtrage numérique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Signaux périodiques	
Signaux périodiques.	Commenter le spectre d'un signal périodique : selon leur rang, attribuer aux différentes harmoniques le rôle qu'elles jouent dans la forme du signal analysé.
Action d'un filtre linéaire du premier ou du second ordre sur un signal périodique.	<p>Prévoir l'effet d'un filtrage linéaire sur la composition spectrale d'un signal périodique. Expliciter les conditions pour obtenir un comportement intégrateur ou dérivateur.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'action d'un filtre sur un signal périodique.</p> <p>Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences en sortie pour une entrée sinusoïdale.</p>
2.2. Électronique numérique	
<p>Échantillonnage : fréquence d'échantillonnage, théorème de Nyquist-Shannon.</p> <p>Filtrage numérique.</p>	<p>Réaliser l'échantillonnage d'un signal. Commenter la structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage.</p> <p>Choisir la fréquence d'échantillonnage afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.</p> <p>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.</p> <p>Mettre en œuvre un convertisseur analogique/numérique et un traitement numérique afin de réaliser un filtre passe-bas ; utiliser un convertisseur numérique/analogique pour restituer un signal analogique.</p>

3. Optique

Le programme d'optique de la filière MP s'inscrit dans le prolongement de la partie « Signaux physiques » du programme de MPSI. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, dans le cadre du modèle ondulatoire de la lumière.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année MPSI, le formalisme utilisé constitue une avancée importante dans la modélisation des phénomènes décrits ; l'enseignant veillera particulièrement à privilégier les aspects expérimentaux et à utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant ne manquera pas non plus de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

Le programme utilise uniquement le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » et « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau de formation.

L'établissement et la connaissance de la fonction réseau ne constituent pas des capacités exigibles.

L'approche expérimentale sera centrée sur la mise en œuvre de l'interféromètre de Michelson et, dans le prolongement du programme de MPSI, de dispositifs d'interférences à N ondes.

Dans le cadre de l'optique, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à la forme des surfaces d'ondes.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser la notion de phase d'une vibration harmonique et de sa variation au cours d'une propagation ;
- associer les caractéristiques géométriques d'un phénomène d'interférences (position et forme des franges, interfrange) à celles du dispositif interférentiel et du milieu de propagation ;
- connaître certains ordres de grandeur propres aux phénomènes lumineux dans le domaine du visible (longueur d'onde, temps de cohérence, temps de réponse d'un récepteur) ; faire le lien avec les problèmes de cohérence ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon lumineux, loi du retour inverse, relations de conjugaison) et de l'optique ondulatoire (chemin optique, surface d'onde, théorème de Malus) afin de conduire un calcul de différence de marche entre deux rayons lumineux dans des situations simples.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses</p> <p>Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.</p> <p>Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).</p> <p>Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.</p>	<p>Savoir que la grandeur lumineuse (ou grandeur scalaire de l'optique) est une composante du champ électrique.</p> <p>Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.</p> <p>Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde.</p> <p>Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon lumineux choisi.</p>
<p>Modèle d'émission. Relation (admise) entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.</p>	<p>Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques radiations visibles.</p> <p>Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \sim 1$ pour relier le temps de cohérence à la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation.</p>
<p>Récepteurs. Intensité de la lumière.</p>	<p>Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.</p> <p>Citer l'ordre de grandeur du temps de réponse de quelques récepteurs de lumière.</p> <p>Mettre en œuvre des expériences utilisant un capteur CCD.</p>
<p>3.2. Superposition d'ondes lumineuses</p>	
<p>Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.</p>	<p>Justifier et utiliser l'additivité des intensités.</p>
<p>Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$. Facteur de contraste.</p>	<p>Citer les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (ondes quasi synchrones, déphasage constant dans le temps ou très lentement variable).</p> <p>Établir et utiliser la formule de Fresnel.</p> <p>Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.</p>
<p>Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique.</p>	<p>Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à l'expression de la différence de marche entre deux ondes issues de motifs consécutifs.</p> <p>Établir la demi-largeur $2\pi/N$ des pics principaux de la courbe d'intensité en fonction du déphasage.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant un phénomène d'interférences à N ondes.</p>
<p>3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young</p>	
<p>Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à distance finie et observation à grande distance. Champ d'interférences. Ordre d'interférences p.</p>	<p>Définir, exprimer et utiliser l'interfrange et l'ordre d'interférences.</p> <p>Justifier que les franges ne sont pas localisées.</p>
<p>Variations de l'ordre d'interférences p avec la</p>	<p>Interpréter la forme des franges observées.</p>

<p>position du point d'observation ; franges d'interférences.</p> <p>Variations de l'ordre d'interférences p avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement angulaire de la source.</p> <p>Variations de p avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.</p>	<p>Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ (où Δp est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.</p> <p>Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ (où Δp est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.</p>
<p>3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue</p>	
<p>Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges.</p> <p>Lame d'air : franges d'égale inclinaison.</p> <p>Étude expérimentale en coin d'air : franges d'égale épaisseur.</p>	<p>Connaître les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.</p> <p>Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole proposé.</p> <p>Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférences en fonction de la longueur d'onde, de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'incidence des rayons.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole pour accéder au profil spectral d'une raie ou d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.</p> <p>Utiliser l'expression (admise) de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences.</p> <p>Analyser un objet (miroir déformé, lame de phase introduite sur un des trajets, etc.) à l'aide d'un interféromètre de Michelson.</p> <p>Interpréter qualitativement les observations en lumière blanche.</p>

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la filière MP s'inscrit dans le prolongement des parties « Signaux physiques » et « Induction et forces de Laplace » du programme de MPSI. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et quelques applications dans des domaines variés.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année de MPSI, le formalisme utilisé constitue, bien souvent, pour les étudiants une première découverte ; il convient pour l'enseignant d'être particulièrement attentif aux difficultés potentielles des étudiants et d'utiliser tous les outils de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation. Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart et les notions de potentiel vecteur et d'angle solide ne relèvent pas du programme.

Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées mais doivent être systématiquement rappelées.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un métal parfait. La propagation dans les milieux s'appuie sur les études d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique et dans un plasma.

Le programme aborde enfin la question des sources avec l'étude du champ rayonné à grande distance par un dipôle oscillant.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les concepts de champ scalaire et de champ de vecteurs ;
- citer quelques ordres de grandeur relatifs à l'intensité des champs statiques, aux flux énergétiques moyens ;
- conduire des analyses de symétrie et d'invariance et calculer des champs à l'aide de propriétés de flux ou de circulation ;
- énoncer des lois de l'électromagnétisme sous formes locale et intégrale et faire le lien entre les deux formulations ;
- conduire des bilans énergétiques mettant en jeu matière et champ électromagnétique ;
- associer au phénomène de propagation un couplage entre les champs, une équation locale et des solutions dans des cas simples ;
- décrire la propagation d'une onde électromagnétique dans le vide et dans un milieu dispersif ;
- relier un champ électromagnétique à ses sources dans le cas d'un dipôle oscillant.

Bloc 1 : Électrostatique

La notion de champ électrostatique a été introduite en classe de première S, cette partie constitue un approfondissement des lois quantitatives qui régissent le champ électrostatique. Les notions abordées sont donc centrées sur l'essentiel : distributions de charges, champ et potentiel. Pour le champ électrostatique et le potentiel, on se limite aux expressions dans le cas de charges ponctuelles.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss pour des situations présentant un haut degré de symétrie ; ce dernier est admis.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées.

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève

pas du programme.

Une approche énergétique est conduite dans un cas simple : une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.

Le dipôle est traité, l'accent est mis sur les effets qualitatifs.

Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Électrostatique	
<p>Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Champ électrostatique créé par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.</p> <p>Distributions continues de charges : volumique, surfacique, linéique.</p> <p>Symétries et invariances du champ électrostatique.</p>	<p>Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.</p> <p>Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Relier les densités de charges de deux types de distributions modélisant une même situation. Déterminer la charge totale d'une distribution continue dans des situations simples.</p> <p>Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.</p>
<p>Circulation du champ électrostatique. Notion de potentiel électrostatique. Opérateur gradient.</p>	<p>Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Citer l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Déterminer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Déterminer une différence de potentiel par circulation du champ électrostatique dans les cas simples.</p>
<p>Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.</p> <p>Cas de la sphère, du cylindre « infini » et du plan « infini ».</p>	<p>Reconnaître les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss.</p> <p>Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre « infini » uniformément chargé en volume et par un plan « infini » uniformément chargé en surface. Établir et énoncer qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.</p>

Étude du condensateur plan comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.	Établir et citer l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide.
Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentielles.	<p>Orienter les lignes de champ électrostatique créées par une distribution de charges. Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement. Associer les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.</p> <p>Approche numérique : à l'aide d'un logiciel dédié représenter des cartes de lignes de champ et d'équipotentielles.</p>
Énergie potentielle électrostatique d'une charge placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
<p>Notion de dipôle électrostatique, moment dipolaire.</p> <p>Champ et potentiel créés par un dipôle électrostatique.</p> <p>Dipôle électrostatique placé dans un champ électrostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.</p>	<p>Exprimer le moment dipolaire d'un doublet de charges. Évaluer des ordres de grandeur dans le domaine microscopique.</p> <p>Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ et des surfaces équipotentielles d'un dipôle électrostatique. Établir et exploiter les expressions du champ et du potentiel créés par un doublet de charges dans l'approximation dipolaire.</p> <p>Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur. Établir et exploiter les expressions des actions mécaniques subies par un doublet de charges dans un champ électrostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.</p>
Analogies avec la gravitation.	Utiliser le théorème de Gauss de la gravitation.

Bloc 2 : Magnétostatique

L'étude de la magnétostatique s'appuie le plus possible sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de MPSI, les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique. La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le seront uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

On aborde les propriétés intégrales du champ et on utilise le théorème d'Ampère pour des calculs dans des cas présentant un haut degré de symétrie.

La notion de dipôle magnétique a déjà été vue, certaines capacités exigibles en classe de MPSI sont reprises, l'étude est complétée, les effets qualitatifs sont à connaître. On pourra, sur ce thème, souligner les analogies avec l'électrostatique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Magnétostatique	
Courant électrique. Vecteur densité de courant volumique. Distributions de courant électrique filiformes.	Déterminer l'intensité du courant électrique traversant une surface orientée.
Symétries et invariances du champ magnétostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants. Identifier les invariances d'une distribution de courants. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de courants pour caractériser le champ magnétostatique créé.
Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère. Applications au fil rectiligne « infini » de section non nulle et au solénoïde « infini ».	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Citer quelques ordres de grandeur de champs magnétostatiques. Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne « infini » de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde « infini » en admettant que le champ est nul à l'extérieur. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution. Approche numérique : à l'aide d'un logiciel dédié représenter des cartes de lignes de champ magnétostatique.

Notion de dipôle magnétique. Moment magnétique.	Exprimer le moment magnétique d'une boucle de courant plane. Évaluer des ordres de grandeur dans les domaines macroscopique et microscopique.
Champ créé par un dipôle magnétique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ d'un dipôle magnétique. Exploiter l'expression fournie du champ créé par un dipôle magnétique.
Dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle passif placé dans un champ magnétostatique extérieur. Exploiter les expressions fournies des actions mécaniques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction. Approche documentaire : Expérience de Stern et Gerlach : expliquer sans calculs les résultats attendus dans le cadre de la mécanique classique ; expliquer les enjeux de l'expérience.

Bloc 3 : Équations de Maxwell

Dans cette partie une vision cohérente des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle constitue une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir qualitativement sur l'induction étudiée en première année de MPSI.

Le professeur peut souligner que l'invariance de la vitesse de la lumière dans le vide par changement de référentiel galiléen peut se déduire de l'invariance des équations de Maxwell, ce qui permet d'effectuer un retour sur ce « principe » déjà énoncé en classe de terminale S.

Les lois locales de l'électrostatique relatives au potentiel constituent un support pertinent pour procéder à une approche numérique de la résolution d'une équation différentielle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Équations de Maxwell	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge en coordonnées cartésiennes dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Associer l'équation de Maxwell-Faraday à la loi de Faraday. Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Associer le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Vérifier la cohérence des équations de Maxwell avec l'équation locale de la conservation de la charge.

Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Approche numérique : mettre en œuvre un outil de résolution numérique fourni pour déterminer une solution à l'équation de Laplace, les conditions aux limites étant fixées.

Bloc 4 : Énergie du champ électromagnétique

Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Les éventuels liens avec la statique sont laissés à l'initiative du professeur dans le cadre de sa liberté pédagogique, aucun savoir-faire n'est exigible de la part des étudiants sur ce thème.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Énergie du champ électromagnétique	
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; densité volumique de puissance Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting : bilan d'énergie.	Citer des ordres de grandeur de flux énergétiques moyens (flux solaire, laser,...) Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, l'équation locale de Poynting étant fournie.

Bloc 5 : Propagation et rayonnement

Cette partie est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

Dans cette partie, on qualifiera de plane une onde par référence à sa dépendance spatiale $f(x,t)$. Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide de courant et de charge, les études des ondes électromagnétiques dans un plasma ainsi que dans un milieu ohmique permettent d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant, par exemple, l'effet de peau, le phénomène de dispersion, les notions de vitesse de groupe et de phase et de fréquence de coupure.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'approfondir leurs connaissances sur les ondes stationnaires et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace. La notion de densité de courant surfacique est introduite mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Enfin, l'étude du rayonnement dipolaire est l'occasion de procéder à une approche qualitative approfondie : d'une part l'expression des champs peut être justifiée en utilisant des arguments simples (symétrie, analyse dimensionnelle, conservation de l'énergie,...) et d'autre part des approches documentaire et expérimentale visent à privilégier les applications dans le domaine des télécommunications et la compréhension de certains phénomènes physiques naturels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Propagation et rayonnement	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique. Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Reconnaître une onde polarisée rectilignement. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.
Propagation d'une onde plane transverse progressive monochromatique dans un plasma localement neutre et peu dense. Vitesse de phase, vitesse de groupe. Cas de l'ionosphère.	Utiliser la notation complexe et établir la relation de dispersion. Définir le phénomène de dispersion. Expliquer la notion de fréquence de coupure et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Décrire la propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu linéaire dispersif par superposition d'ondes planes progressives monochromatiques. Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. Approche documentaire : à l'aide de données sur l'ionosphère illustrer quelques aspects des télécommunications.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau. Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire. Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire. Utiliser la méthode de séparation des variables. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.
Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant dans la zone de rayonnement. Puissance	Justifier le choix du modèle du dipôle oscillant et citer des exemples dans différents domaines.

rayonnée.	<p>Formuler et commenter les approximations reliant les trois échelles de longueur pertinentes.</p> <p>Analyser la structure du champ électromagnétique rayonné, les expressions des champs étant fournies, en utilisant des arguments généraux : symétrie, conservation de l'énergie et analyse dimensionnelle.</p> <p>Effectuer un bilan énergétique, les expressions des champs étant fournies.</p> <p>Représenter l'indicatrice de rayonnement.</p> <p>Détecter une onde électromagnétique rayonnée.</p> <p>Approche documentaire : expliquer certaines propriétés optiques de l'atmosphère (couleur du ciel, du Soleil couchant, polarisation,...) en lien avec le thème du rayonnement dipolaire.</p>
-----------	---

5. Thermodynamique

Le programme de thermodynamique de MP s'inscrit dans le prolongement du programme de MPSI : les principes de la thermodynamique sont désormais écrits sous forme infinitésimale $dU+dE = \delta W + \delta Q$ et $dS = \delta S_e + \delta S_c$. Le premier principe infinitésimal est réinvesti dans l'étude des transferts thermiques.

Après une partie consacrée aux systèmes ouverts, le programme s'articule autour de la problématique des transferts thermiques :

- pour la diffusion thermique, la mise en équation est limitée au cas des solides ; on peut utiliser les résultats ainsi établis dans d'autres situations, notamment dans des fluides, en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries où une seule variable d'espace intervient. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle. Enfin, aucune connaissance spécifique sur les solutions d'une équation de diffusion ne figure au programme.
- la loi phénoménologique de Newton à l'interface entre un solide et un fluide est introduite.
- les transferts thermiques par rayonnement sont abordés uniquement au travers d'une activité expérimentale.

Objectifs de formation

Le cours de thermodynamique de MP permet un réinvestissement du cours de thermodynamique de MPSI et contribue à asseoir les compétences correspondantes. Au-delà, l'étude de la diffusion thermique contribue à consolider la maîtrise d'outils puissants (divergence, laplacien) dans un contexte concret. Les compétences développées sont :

- identifier la nature des transferts thermiques ;
- réaliser des bilans d'énergie ;
- analyser et résoudre des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions initiales, conditions aux limites).

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.1. Systèmes ouverts en régime stationnaire	
<p>Formulation des principes de la thermodynamique pour une transformation élémentaire.</p> <p>Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.</p>	<p>Utiliser avec rigueur les notations d et δ en leur attachant une signification.</p> <p>Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide du diagramme (p,h).</p>
5.2. Transferts thermiques	
<p>Conduction, convection et rayonnement.</p>	<p>Reconnaître un mode de transfert thermique.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant une caméra thermique ou un capteur dans le domaine des infrarouges.</p>
<p>Vecteur densité de flux thermique.</p>	<p>Calculer un flux thermique à travers une surface orientée et interpréter son signe.</p>
<p>Premier principe de la thermodynamique.</p>	<p>Effectuer un bilan local d'énergie interne pour un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique.</p>
<p>Loi de Fourier.</p>	<p>Interpréter et utiliser la loi phénoménologique de Fourier.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, verre, acier.</p> <p>Mesurer la conductivité thermique d'un matériau.</p>
<p>Équation de la diffusion thermique.</p>	<p>Établir l'équation de la diffusion thermique sans terme de source au sein d'un solide dans le cas d'une situation à une variable d'espace en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique.</p> <p>Utiliser une généralisation de l'équation de la diffusion en présence d'un terme de source.</p> <p>Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie.</p> <p>Analyser une équation de diffusion thermique en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.</p> <p>Approche numérique : mettre en œuvre un outil de résolution numérique fourni pour déterminer une solution à l'équation de la diffusion thermique, les conditions aux limites et les conditions initiales étant fixées.</p>
<p>Régime stationnaire. Résistance thermique.</p>	<p>Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique.</p> <p>Déterminer l'expression de la résistance thermique d'un solide dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne.</p> <p>Exploiter les lois d'association de résistances thermiques.</p>
<p>Coefficient de transfert thermique de surface h, loi de Newton.</p>	<p>Utiliser la loi de Newton comme condition aux limites à une interface solide-fluide.</p>

6. Physique quantique

Cette partie s'inscrit dans le prolongement des programmes du lycée et de la classe de MPSI. Il s'agit cependant de dépasser l'approche descriptive et qualitative et de donner aux étudiants leurs premiers outils quantitatifs d'analyse. Le cœur de cet enseignement est construit sur la mécanique ondulatoire de Schrödinger et propose des résolutions complètes d'exemples simples mais fondamentaux pour la bonne compréhension de problèmes plus complexes : particule dans une marche de potentiel et effet tunnel, particule dans un puits de potentiel infini et quantification de l'énergie d'une particule confinée. On se limitera à l'introduction heuristique de la dualité onde/particule et de la densité de courant de probabilité pour une particule libre sans développer la notion de paquet d'ondes. L'accent doit être mis sur l'interprétation et l'exploitation des résultats et non pas sur les calculs, non exigibles pour l'exemple plus délicat de la barrière de potentiel. Le professeur pourra au contraire, s'il le souhaite, proposer des analyses de graphes, des exploitations de formules analytiques fournies, des estimations numériques, des simulations... afin d'aborder des modélisations plus réalistes.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- mettre en relation les effets quantiques avec les prédictions classiques ;
- mobiliser ses savoir-faire sur les ondes pour interpréter les phénomènes quantiques ;
- être en mesure de prévoir des effets quantiques grâce à des estimations numériques ;
- passer de la description corpusculaire à une description ondulatoire d'une particule ;
- utiliser le principe de superposition.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger	
Fonction d'onde ψ d'une particule sans spin et densité de probabilité de présence.	Interpréter en termes de probabilité l'amplitude d'une onde associée à une particule.
Équation de Schrödinger à une dimension dans un potentiel $V(x)$.	Utiliser le caractère linéaire de l'équation (principe de superposition).
États stationnaires de l'équation de Schrödinger.	Procéder à la séparation des variables temps et espace. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Relier l'énergie de la particule à l'évolution temporelle de sa fonction d'onde et faire le lien avec la relation de Planck-Einstein. Identifier le terme associé à l'énergie cinétique.
6.2. Particule libre	
Fonction d'onde d'une particule libre non localisée.	Établir les solutions. Connaître et interpréter la difficulté de normalisation de cette fonction d'onde.
Relation de de Broglie.	Relier l'énergie de la particule et le vecteur d'onde de l'onde plane associée.

<p>Inégalité d'Heisenberg spatiale et paquet d'ondes.</p> <p>Densité de courant de probabilité associée à une particule libre.</p>	<p>Expliquer, en s'appuyant sur l'inégalité d'Heisenberg spatiale, que la localisation de la particule peut s'obtenir par superposition d'ondes planes.</p> <p>Utiliser l'expression admise $\mathbf{J} = \psi ^2 \frac{\hbar \mathbf{k}}{m}$ par analogie avec la densité de courant électrique.</p>
<p>6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux</p>	
<p>États stationnaires d'une particule dans le cas d'une marche de potentiel</p> <p>Cas $E > V$: probabilité de transmission et de réflexion.</p> <p>Cas $E < V$: évanescence.</p>	<p>Citer des exemples physiques illustrant cette problématique.</p> <p>Exploiter les conditions de continuité (admises) relatives à la fonction d'onde.</p> <p>Établir la solution dans le cas d'une particule incidente sur une marche de potentiel.</p> <p>Expliquer les différences de comportement par rapport à une particule classique</p> <p>Déterminer les coefficients de transmission et de réflexion en utilisant les courants de probabilités</p> <p>Reconnaître l'existence d'une onde évanescence et la caractériser.</p>
<p>Barrière de potentiel et effet tunnel.</p>	<p>Décrire qualitativement l'influence de la hauteur ou de largeur de la barrière de potentiel sur le coefficient de transmission.</p> <p>Exploiter un coefficient de transmission fourni.</p> <p>Approche documentaire : en utilisant le coefficient de transmission fourni, expliquer le rôle de l'effet tunnel dans la radioactivité α ou la microscopie à effet tunnel.</p>
<p>États stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini.</p> <p>Énergie de confinement.</p>	<p>Établir les solutions et les niveaux d'énergie de la particule confinée.</p> <p>Identifier les analogies avec la corde vibrante.</p> <p>Estimer l'énergie d'une particule confinée dans son état fondamental pour un puits non rectangulaire.</p> <p>Associer l'analyse à l'inégalité d'Heisenberg.</p>
<p>6.4. États non stationnaires d'une particule</p>	
<p>Combinaison linéaire d'états stationnaires.</p>	<p>Expliquer qu'une superposition de deux états stationnaires engendre une évolution au cours du temps de l'état de la particule.</p> <p>Établir l'expression de la densité de probabilité de présence de la particule dans le cas d'une superposition de deux états stationnaires ; interpréter le résultat.</p> <p>Approche numérique : en utilisant un logiciel dédié, décrire l'évolution temporelle d'une particule confinée (puits infini, oscillateur harmonique,...).</p>

7. Éléments de thermodynamique statistique

L'objectif de cette partie est de relier certaines propriétés macroscopiques d'un système constitué d'un grand nombre de particules avec celles des constituants microscopiques.

Le facteur de Boltzmann est introduit de manière inductive à partir du modèle d'atmosphère isotherme. L'étude des systèmes à spectre discret d'énergies est l'occasion de montrer, qu'à température donnée, l'énergie fluctue et que les fluctuations relatives diminuent avec la taille du système. L'étude des systèmes à deux niveaux, conduite de manière plus exhaustive, permet une analyse plus fine des phénomènes.

Le théorème d'équipartition de l'énergie est l'occasion de procéder à une évaluation des capacités thermiques des gaz et des solides

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- évaluer certaines grandeurs macroscopiques en fonction de paramètres microscopiques ;
- mettre en œuvre des modes de raisonnement relevant du domaine de l'analyse statistique et probabiliste ;
- relier l'étude des systèmes à spectre discret d'énergies avec le phénomène de quantification de l'énergie vu dans le cours d'introduction à la physique quantique ;
- affiner la compréhension de certaines grandeurs de la thermodynamique classique comme l'énergie, la température, la capacité thermique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7.1. Monde microscopique, monde macroscopique	
Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique.	Définir chacune de ces échelles et en expliquer la pertinence.
7.2. Facteur de Boltzmann	
Modèle de l'atmosphère isotherme.	Établir la variation de la pression avec l'altitude dans l'hypothèse d'une atmosphère isotherme.
Poids de Boltzmann d'une particule indépendante à l'équilibre avec un thermostat.	Interpréter la loi du nivellement barométrique avec le poids de Boltzmann. Reconnaître un facteur de Boltzmann. Comparer $k_B T$ à des écarts d'énergie et estimer les conséquences d'une variation de température.
7.3. Systèmes à spectre discret d'énergies	
Probabilité d'occupation d'un état d'énergie non dégénéré par une particule indépendante.	Exprimer la probabilité d'occupation d'un état d'énergie en utilisant la condition de normalisation. Exploiter un rapport de probabilités entre deux états.
Énergie moyenne et écart quadratique moyen.	Exprimer sous forme d'une somme sur ses états l'énergie moyenne et l'écart-quadratique énergétique d'un système.
Cas d'un système à N particules indépendantes.	Expliquer pourquoi les fluctuations relatives d'énergie régressent quand la taille du système augmente et associer cette régression au caractère

<p>Système à deux niveaux non dégénérés d'énergies $\pm \varepsilon$.</p>	<p>quasi-certain des grandeurs thermodynamiques.</p> <p>Citer des exemples de systèmes modélisables par un système à deux niveaux.</p> <p>Déterminer l'énergie moyenne et la capacité thermique de ce système.</p> <p>Interpréter l'évolution de l'énergie moyenne avec la température, notamment les limites basse et haute température.</p> <p>Relier les fluctuations d'énergies à la capacité thermique.</p>
<p>7.4. Capacités thermiques classiques des gaz et des solides</p>	
<p>Théorème d'équipartition pour un degré de liberté énergétique indépendant quadratique.</p>	<p>Connaître et exploiter la contribution $k_B T/2$ par degré quadratique à l'énergie moyenne.</p>
<p>Capacité thermique molaire des gaz classiques dilués monoatomiques et diatomiques.</p> <p>Capacité thermique molaire des solides dans le modèle d'Einstein classique : loi de Dulong et Petit.</p>	<p>Dénombrer de degrés de libertés énergétiques quadratiques indépendants et en déduire la capacité thermique molaire d'un système.</p>

8. Thermodynamique de la transformation chimique

La transformation de la matière a été abordée au début de la classe de MPSI ; les changements d'état du corps pur ont été évoqués et le critère d'évolution d'un système chimique en transformation a été présenté sans être démontré. Ce dernier a été utilisé au travers de l'étude de l'évolution des systèmes chimiques, étude restreinte au cas où une seule réaction modélise la transformation.

Le but de cette partie est double : d'une part aborder les transferts thermiques d'un système engagé dans une transformation chimique, et d'autre part établir et utiliser le critère d'évolution spontané d'un système chimique, ce qui nécessite l'introduction de la fonction G et du potentiel chimique.

On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale $\mu_i(T, \text{composition}) = \mu_i^\circ(T) + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux expressions des activités vues en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges idéaux de gaz parfaits, avec référence à l'état standard.

Les grandeurs standard de réaction sont introduites. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température. D'une part, le calcul de ces grandeurs à 298 K à partir de tables de données thermodynamiques rend possible, pour un système engagé dans une transformation physico-chimique, une estimation du transfert thermique qui peut être confrontée à l'expérience. D'autre part, les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la valeur de la constante thermodynamique K° caractéristique d'une réaction, valeur qui était simplement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition du système physico-chimique en fin d'évolution.

Pour un système en équilibre, le calcul de la variance permet, *via* l'identification méthodique des variables intensives de description, une caractérisation de l'état intensif de celui-ci par la détermination de son « nombre de degrés de liberté ». L'utilisation du théorème de Gibbs ne relève pas du programme.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. L'étude de tout ou partie d'une unité de synthèse industrielle est conduite à l'aide d'une approche documentaire.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- choisir de manière rigoureuse et décrire le système physico-chimique étudié ;
- distinguer modélisation d'une transformation chimique (réaction chimique et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- utiliser des tables de données thermodynamiques ;
- confronter des grandeurs calculées à des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
8.1 Application du premier principe à la transformation chimique	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Enthalpie standard de changement d'état. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément. Loi de Hess.	Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques ou de la loi de Hess.
Effets thermiques pour une transformation isobare : - transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\ominus$) ; - transformation chimique exothermique ou endothermique.	Prévoir le sens du transfert thermique entre le système en transformation chimique et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique. Mettre en œuvre une démarche expérimentale mettant en jeu des effets thermiques d'une transformation chimique.
8.2 Application du second principe à la transformation chimique	
Potentiel thermodynamique ; enthalpie libre d'un système. Potentiel chimique ; enthalpie libre d'un système chimique.	Justifier que G est le potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées. Citer l'expression de la différentielle de G ; distinguer les caractères intensif ou extensif des variables utilisées. Définir le potentiel chimique à l'aide de la fonction G et donner l'expression (admise) du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité. Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.

<p>Enthalpie libre de réaction. Enthalpie libre standard de réaction. Relation entre $\Delta_r G$, $\Delta_r G^\circ$ et Q_r; évolution d'un système chimique. Entropie molaire standard absolue. Entropie standard de réaction $\Delta_r S^\circ$.</p>	<p>Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à p et T fixées. Prévoir le sens d'évolution à p et T fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction. Déterminer les grandeurs standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques ou de la loi de Hess. Déterminer les grandeurs standard de réaction d'une réaction dont l'équation est combinaison linéaire d'autres équations de réaction. Interpréter ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p>
<p>Constante d'équilibre ; relation de Van't Hoff. Relation entre $\Delta_r G$, K° et Q_r.</p> <p>État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.</p>	<p>Définir la constante thermodynamique d'équilibre à partir de l'enthalpie libre standard de réaction. Prévoir le sens d'évolution à p et T fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de Q_r et K°. Énoncer et exploiter la relation de Van't Hoff. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre thermodynamique à une température quelconque. Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre thermodynamique d'une réaction par combinaison de constantes d'équilibres thermodynamiques d'autres réactions.</p> <p>Déterminer la composition chimique d'un système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Mettre une œuvre une démarche expérimentale pour déterminer la valeur d'une constante d'équilibre en solution aqueuse.</p>
<p>Caractérisation de l'état intensif d'un système en équilibre : nombre de degrés de liberté (variance) d'un système à l'équilibre.</p> <p>Optimisation d'un procédé chimique : - par modification de la valeur de K°; - par modification de la valeur du quotient réactionnel.</p>	<p>Reconnaître si une variable intensive est ou non un paramètre d'influence d'un équilibre chimique. Recenser les variables intensives pertinentes de description du système à l'équilibre pour en déduire le nombre de degrés de liberté de celui-ci.</p> <p>Identifier les paramètres d'influence et leur sens d'évolution pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents décrivant une unité de synthèse industrielle, analyser les choix industriels, aspects environnementaux inclus.</p>

9. Electrochimie

L'approche adoptée dans cette partie est principalement qualitative, et en dehors de l'étude thermodynamique d'une pile, elle ne requiert aucun formalisme physique ou mathématique.

Les caractéristiques générales des courbes courant-potentiel sont présentées sur différents exemples afin que les étudiants soient capables de proposer l'allure qualitative de courbes à partir d'un ensemble de données cinétiques et thermodynamiques fournies.

Ces courbes sont utilisées pour justifier ou prévoir le fonctionnement de dispositifs d'intérêt industriel, économique et écologique mettant en jeu la conversion énergie chimique-énergie électrique ou énergie électrique-énergie chimique, qu'ils soient sièges de réactions d'oxydoréduction spontanées (piles électrochimiques, piles à combustibles, phénomènes de corrosion humide) ou forcées (électrolyseurs et accumulateurs).

L'ensemble des aspects étudiés donne lieu à des activités expérimentales qui visent à illustrer les phénomènes présentés et à souligner l'intérêt des dispositifs électrochimiques pour la détermination de grandeurs thermodynamiques et électrochimiques.

Les approches documentaires permettent de mettre en évidence la complexité de ces dispositifs de conversion d'énergie, au-delà de l'aspect strictement électrochimique.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- choisir de manière rigoureuse et décrire le système physico-chimique étudié ;
- élaborer qualitativement des outils graphiques à partir d'un ensemble de données ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
9.1. Approche qualitative de la cinétique électrochimique	
Surtension. Allure des courbes courant-potentiel (intensité ou densité de courant) : <ul style="list-style-type: none"> - systèmes rapides et systèmes lents ; - nature de l'électrode ; - courant limite de diffusion ; - vagues successives ; - mur du solvant. 	Décrire le montage à trois électrodes permettant de mesurer une surtension. Associer vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant. Reconnaître le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes courant-potentiel. Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion. À partir de relevés expérimentaux, associer l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif et à la surface immergée de l'électrode. Donner l'allure qualitative de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données de potentiels standard, concentrations et surtensions de « seuil ».
	Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant des courbes courant-potentiel.

9.2. Phénomènes de corrosion humide	
Transformations spontanées : notion de potentiel mixte.	Positionner qualitativement un potentiel mixte sur un tracé de courbes courant-potentiel.
Potentiel de corrosion, intensité de courant de corrosion, densité de courant de corrosion. Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné.	Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion uniforme à l'aide de données expérimentales, thermodynamiques et cinétiques. Citer des facteurs aggravants de la corrosion.
Corrosion différentielle par hétérogénéité du support ou du milieu.	Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion différentielle faisant intervenir deux métaux à l'aide de courbes courant-potentiel.
Protection contre la corrosion : - revêtement ; - passivation ; - anode sacrificielle ; - protection électrochimique par courant imposé.	Exploiter des tracés de courbes courant-potentiel pour expliquer qualitativement : - la qualité de la protection par un revêtement métallique ; - le fonctionnement d'une anode sacrificielle. Mettre en œuvre des protocoles illustrant les phénomènes de corrosion et de protection.

9.3. Énergie chimique et énergie électrique : conversion et stockage	
Conversion énergie chimique en énergie électrique : Approche thermodynamique.	Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique. Citer la relation entre la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de réaction. Déterminer la capacité d'une pile en Ah.
Approche cinétique.	Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide. Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif électrochimique. Mettre en œuvre une démarche expérimentale utilisant des piles.
Conversion énergie électrique en énergie chimique : Caractère forcé de la transformation. Électrolyseur.	Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension de seuil.
Recharge d'un accumulateur.	Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes dans la recharge d'un accumulateur. Approche documentaire : à partir de documents sur des accumulateurs (lithium ion, nickel-métal hydrure,...), comparer la constitution, le fonctionnement et l'efficacité de tels dispositifs.

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique chimie de la classe de MPSI. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Polariseur dichroïque
- Interféromètre de Michelson motorisé
- Capteur CCD

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre
- Émetteur et récepteur dans le domaine des ondes centimétriques

3. Domaine thermodynamique

- Caméra thermique

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de MP sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de MPSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » n'a pas fait l'objet d'une rubrique en première année, l'expression des différents opérateurs introduits sont exigibles en coordonnées cartésiennes. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en MPSI et réutilisée en classe de MP, on étend la décomposition d'un signal périodique comme somme de ses harmoniques à l'expression d'un signal non périodique sous forme d'une intégrale (synthèse spectrale). Aucun résultat n'est exigible, on souligne en revanche la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent sera mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles seront mobilisées principalement dans le cours de chimie sur la thermodynamique de la transformation chimique ; les fondements feront l'objet d'une étude dans le cadre du chapitre « calcul différentiel » du cours de mathématique.

L'introduction d'éléments de thermodynamique statistique est l'occasion d'utiliser des notions simples sur les variables aléatoires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
a) gradient. b) divergence. c) rotationnel. d) laplacien d'un champ scalaire. e) laplacien d'un champ de vecteurs f) cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs croissantes de f . Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes. Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes. Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes. Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.
2. Analyse de Fourier	
Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial.
Synthèse spectrale d'un signal non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution fréquemment rencontrée dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivées partielles.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée.
5. Variables aléatoires	
Variables aléatoires discrètes.	Espérance et écart-type d'une variable aléatoire discrète.
Variables aléatoires à densité.	Espérance d'une variable aléatoire à densité.

Appendice 3 : outils transversaux

La liste ci-dessous explicite un certain nombre d'outils transversaux dont la maîtrise est indispensable au physicien. Leur apprentissage progressif et contextualisé doit amener les étudiants au bout des deux années de CPGE à en faire usage spontanément quel que soit le contexte. S'agissant de l'analyse dimensionnelle, il convient d'éviter tout dogmatisme : en particulier la présentation de la dimension d'une grandeur par le biais de son unité dans le système international est autorisée. S'agissant de la recherche d'une expression par analyse dimensionnelle il ne s'agit en aucun cas d'en faire un exercice de style : en particulier le théorème Pi de Buckingham est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse de pertinence	
Homogénéité d'une expression.	Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs mise en jeu.
Caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs mise en jeu.
Sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre.	Interpréter qualitativement et en faire un test de pertinence.
Limites d'une expression pour des valeurs nulles ou infinies des paramètres.	Tester les limites d'une expression. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Nullité d'une expression.	Repérer l'annulation d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Divergence d'une expression.	Repérer la divergence d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence. Proposer éventuellement des éléments non pris en compte dans le modèle susceptibles de brider la divergence (frottements, non linéarités, etc...).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Calcul numérique.	
Calcul numérique d'une expression.	Calculer sans outil l'ordre de grandeur (puissance de dix) d'une expression simple. Afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données et une unité correcte dans le cas d'un résultat dimensionné. Commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaisons à des valeurs de référence bien choisies, etc.). En faire un test de pertinence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Outils de communication	
Tableaux de données numériques simples.	Transformer un tableau de données numériques en représentation graphique. Renseigner correctement les axes.
Exploitation d'une représentation graphique.	Repérer les comportements intéressants dans le contexte donné : monotonie, extrema, branches infinies, signes. Interpréter le caractère localement rectiligne selon qu'on travaille en échelles linéaire, semi-logarithmique ou log-log.
Schémas et figures.	Transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels. Élaborer une courte synthèse à partir de plusieurs éléments graphiques : tableaux, schémas, courbes...

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Analyse dimensionnelle	
Dimension d'une expression.	Déterminer la dimension d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Recherche d'une expression de type monôme par analyse dimensionnelle.	Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E=A^\alpha B^\beta C^\chi$ par analyse dimensionnelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Analyse d'ordre de grandeur	
Comparaison en ordre de grandeur des différents termes d'une équation différentielle ou d'une équation aux dérivées partielles.	À partir d'une mise en évidence des échelles pertinentes d'un problème, évaluer et comparer l'ordre de grandeur des différents termes d'une équation afin de la simplifier en conséquence.

Programme de physique de la voie PCSI

Le programme de physique de la classe de PCSI s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en PCSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au

long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une **approche numérique** ou d'une **approche documentaire**.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de PCSI.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, chimie, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'importance du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, répondent donc à des objectifs différents :

- les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique (impédance, facteur de qualité, lois de modulation pour ne citer que quelques exemples).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, associée à une problématique clairement identifiée, et si possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et des incertitudes, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées. Ces activités expérimentales visent à développer l'autonomie et l'initiative, qualités indispensables à l'exercice du métier d'ingénieur ou de chercheur.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Cette liste est délibérément placée en appendice du programme. L'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des savoir-faire techniques associés est ainsi explicitement exclue.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...) Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie, avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral. Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte figure dans un appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type. Évaluation d'une incertitude-type. Incertitude-type composée. Incertitude élargie.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée. Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...). Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs. Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Présentation d'un résultat expérimental. Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance. Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.

	Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	Utiliser un logiciel de régression linéaire. Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire. Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire. Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme de formation disciplinaire - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie « Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des compétences ci-dessous figure dans l'**Appendice 1** du programme.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles	
Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement du viseur entre deux positions.
Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Pouvoir évaluer avec une précision donnée, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.
Angles : avec un goniomètre.	Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette auto-collimatrice.
	Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour

<p>Longueurs d'onde.</p>	<p>tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p> <p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.</p>
<p>2. Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Fréquence ou période :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition - Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en réalisant des battements. <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel/Déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.</p>
<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. <p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - périodique simple à l'aide d'un GBF - modulé en amplitude à l'aide de deux GBF et d'un multiplieur 	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expliquer le lien entre résolution, calibre, nombre de points de mesure - Préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) - Définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...). <p>Visualiser la caractéristique d'un capteur à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p>

<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolation, amplification, filtrage - sommation, intégration <p>- numérisation.</p>	<p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p> <p>Élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une conversion A/N et N/A.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière.</p> <p>Analyser une image numérique.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée.</p> <p>Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.</p> <p>Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...).</p> <p>Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette auto-collimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser quantitativement un spectre à l'aide d'un réseau.</p> <p>Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et mesurer sa direction de polarisation.</p> <p>Acquérir (webcam, appareil photo numérique,...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel (obtention d'un profil d'intensité sur un segment, extraction d'un contour en modifiant le contraste, mesure d'une longueur par comparaison à un étalon, ...) pour conduire l'étude du phénomène.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse, un moment d'inertie.</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>Utiliser une balance de précision.</p> <p>Repérer la position d'un centre de masse et mesurer un moment d'inertie à partir d'une période et de l'application de la loi d'Huygens fournie.</p> <p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie.</p> <p>Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre.</p>

<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température : thermomètre, thermocouple, thermistance, ou capteur infrarouge.</p> <p>Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>
--	--

Contenus disciplinaires

A. Premier semestre

1. Signaux Physiques

Présentation

Cette partie doit être traitée en totalité avant d'aborder les autres parties du programme. Elle porte sur l'étude des signaux physiques, et plus particulièrement sur celle des signaux sinusoïdaux, qui jouent un rôle central dans les systèmes linéaires. Cette première partie s'appuie sur un spectre large de concepts qui ont été abordés au lycée :

- en classe de seconde : signal périodique et spectre ;
- en classe de première scientifique : énergie électrique, loi d'Ohm, loi de Joule, lentilles minces, longueur d'onde dans le visible, spectres de sources lumineuses ;
- en classe de terminale scientifique : signaux numériques, ondes progressives, diffraction, interférences, effet Doppler, lois de Newton, énergie mécanique, oscillateur amorti.

La familiarité des étudiants avec la plupart des notions abordées dans cette partie doit faciliter la transition vers une physique plus quantitative qu'au lycée, ce qui nécessite une acquisition progressive d'outils nécessaires à la formalisation mathématique des lois de la physique. Les thèmes abordés dans cette partie ont été retenus pour leur caractère motivant ou formateur. Il convient d'introduire progressivement le formalisme en soulignant la richesse des conclusions auxquelles il permet d'accéder. Dans toute cette partie, on ne s'intéresse, à une exception près, qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques. Il convient à cet égard d'être conscient que la pratique des circuits électriques ne figure que très peu dans les programmes du lycée.

Objectifs généraux de formation

Cette première partie de programme « Signaux physiques » s'inscrit dans la continuité du programme de Terminale S, tout en amorçant une nécessaire transition vers une formalisation plus approfondie des lois

de la physique. À travers les contenus et les capacités exigibles sont développées des compétences qui seront par la suite valorisées, parmi lesquelles :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans l'étude de l'évolution temporelle d'un système physique
- comprendre la représentation des solutions dans un portrait de phase
- relier linéarité et superposition
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire
- interpréter physiquement et savoir reconnaître la forme analytique d'un signal qui se propage
- relier conditions aux limites et quantification, conditions aux limites et décomposition en ondes stationnaires
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul

À l'issue de cette première partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises ; il convient donc de les travailler chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Le **bloc 1** s'articule autour d'un système simple connu, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Oscillateur harmonique	
Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales. Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation. Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.

Le **bloc 2** est consacré à la propagation du signal. Il est ici indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite ici à une équation d'ondes. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence

le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux signaux dans le signal résultant. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres et de préparer à la quantification de l'énergie en mécanique quantique. La diffraction est abordée de manière purement descriptive et expérimentale, et est envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'une part d'introduire l'approximation de l'optique géométrique et d'autre part de préparer l'interprétation ultérieure de l'inégalité de Heisenberg. Ce bloc se termine par une première approche, expérimentale elle aussi, de la manifestation vectorielle d'une onde transverse, autour de la loi de Malus.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	<p>Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.</p> <p>Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.</p>
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	<p>Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$.</p> <p>Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$.</p> <p>Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.</p>
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	<p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p> <p>Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</p>
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p> <p>Utiliser la représentation de Fresnel pour déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.</p> <p>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.</p>
Battements.	<p>Déterminer une différence relative de fréquence à partir d'enregistrements de battements ou d'observation sensorielle directe.</p>
Ondes stationnaires mécaniques.	<p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres</p>

	<p>connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p> <p>Savoir qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <p>Faire le lien avec le vocabulaire de la musique et savoir que le spectre émis par un instrument est en réalité plus complexe.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</p>
Diffraction à l'infini.	<p>Utiliser la relation $\sin\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p> <p>Connaître les conséquences de la diffraction sur la focalisation et sur la propagation d'un faisceau laser.</p> <p>Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.</p>
Polarisation rectiligne de la lumière. Loi de Malus.	<p>Reconnaître et produire une onde lumineuse polarisée rectilignement.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour de la loi de Malus.</p>

Le **bloc 3** porte sur l'optique géométrique. Il ne doit pas être enseigné ou évalué pour lui-même, mais doit servir de point d'appui à des approches expérimentales en première année et à l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Optique géométrique	
Sources lumineuses.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	
Indice d'un milieu transparent.	Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Interpréter la loi de la réfraction à l'aide du modèle ondulatoire. Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un

	détecteur.
Lentilles minces.	<p>Connaître les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton).</p> <p>Choisir de façon pertinente dans un contexte donné la formulation (Descartes ou Newton) la plus adaptée.</p> <p>Établir et connaître la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</p> <p>Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</p>
L'œil.	<p>Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.</p> <p>Connaître les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.</p>

L'introduction au monde quantique fait l'objet du **bloc 4**. Elle s'inscrit dans la continuité du programme de la classe de terminale scientifique. Elle est restreinte, comme dans toute cette partie « Signaux physiques » à l'étude de systèmes unidimensionnels. La réflexion sur les thèmes abordés ici doit avant tout être qualitative ; toute dérivation calculatoire devra être soigneusement évitée. Les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-corpuscule, l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, et les conséquences de l'inégalité de Heisenberg spatiale dans des situations confinées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	<p>Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques.</p> <p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.</p> <p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.</p>

Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Inégalité de Heisenberg spatiale.	À l'aide d'une analogie avec la diffraction des ondes lumineuses, établir l'inégalité en ordre de grandeur : $\Delta p \Delta x \geq \hbar$.
Énergie minimale de l'oscillateur harmonique quantique.	Établir le lien entre confinement spatial et énergie minimale (induit par l'inégalité de Heisenberg spatiale).
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Obtenir les niveaux d'énergie par analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification.

Le **bloc 5** pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C, lors des travaux pratiques il est possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuits électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Savoir que la charge électrique est quantifiée. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer les ordres de grandeurs des composants R, L, C. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.

Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. Évaluer les grandeurs à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.

Les **blocs 6, 7 et 8** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance *a priori* de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie. L'étude de régimes libres à partir de portraits de phase est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	<p>Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</p> <p>Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir l'évolution du système, avant toute résolution de l'équation différentielle, à partir d'une analyse s'appuyant sur une représentation graphique de la dérivée temporelle de la grandeur en fonction de cette grandeur.</p>

	Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7. Oscillateurs amortis	
Circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique.</p> <p>Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système en utilisant un portrait de phase fourni.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Connaître la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p>
Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes.	Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la construction de Fresnel et la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.</p> <p>À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en</p>

	<p>évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation.</p> <p>Relier l'acuité d'une résonance forte au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p> <p>Expliquer la complémentarité des informations présentes sur les graphes d'amplitude et de phase, en particulier dans le cas de résonance d'élongation de facteur de qualité modéré.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour des régimes transitoires du premier ou du second ordre (flash, sismomètre, ...).</p>
--	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
8. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	<p>Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.</p> <p>Définir la valeur moyenne et la valeur efficace. Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.</p> <p>Savoir que le carré de la valeur efficace d'un signal périodique est la somme des carrés des valeurs efficaces de ses harmoniques.</p>
Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	<p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.</p>
Notion de gabarit. Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	<p>Établir le gabarit d'un filtre en fonction du cahier des charges.</p> <p>Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.</p> <p>Comprendre l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de</p>

réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.

Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre...).

Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences.

2. Mécanique 1

Présentation

Le programme de mécanique de PCSI s'inscrit dans le prolongement du programme de Terminale S où la loi fondamentale de la dynamique a été exprimée en termes de quantité de mouvement, puis utilisée pour l'étude du mouvement du point matériel. L'objectif majeur du programme de PCSI est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (principe d'inertie, loi de la quantité de mouvement, principe des actions réciproques, loi du moment cinétique, loi de l'énergie cinétique). S'agissant du caractère postulé ou démontré, le professeur est libre de présenter tout ou partie de ces lois comme des postulats ou comme des conséquences de postulats en nombre plus restreint. En conséquence, aucune question ne peut être posée à ce sujet. Pour illustrer ces lois fondamentales, il ne s'agit pas de se restreindre à la dynamique du point matériel. Des exemples de dynamique du solide seront introduits (translation et rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen), avec toutefois des limitations strictes : l'étude générale d'un mouvement composé d'une translation dans un référentiel galiléen et d'une rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique ne figure pas au programme.

En première année on se limite à l'étude de la dynamique dans un référentiel galiléen : l'introduction des forces d'inertie est prévue en deuxième année.

Objectifs généraux de formation

Après la partie « Signaux physiques » du programme, qui implique uniquement des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace : il convient d'accorder toute son importance à la marche à franchir pour les étudiants. Par ailleurs, la mécanique doit contribuer à développer plus particulièrement des compétences générales suivantes :

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires)
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives

- rechercher les paramètres significatifs d'un problème
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux « petits » angles et système masse-ressort
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces par exemple)
- prendre conscience des limites d'une théorie (limites relativistes par exemple)
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait intuitivement ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soit pleinement développé, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations modélisées à l'extrême (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

Le **bloc 1** est une approche de la cinématique du point, les exemples étant limités aux mouvements plans, et de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe. Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Si la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue, tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systemes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Exemple 1 : mouvement de vecteur-accélération	Exprimer la vitesse et la position en fonction du

constant.	temps. Obtenir la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Exemple 2 : mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires planes. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.

Le **bloc 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...). Le programme insiste sur le portrait de phase considéré comme un regard complémentaire sur les équations différentielles. Les portraits de phase ne doivent pas donner lieu à des débordements calculatoires : leur construction explicite est donc limitée au cas des oscillations harmoniques au voisinage d'une position d'équilibre. En revanche les étudiants devront savoir interpréter un portrait de phase plus complexe qui leur serait fourni ou qu'ils auraient obtenu expérimentalement ou à l'aide d'un logiciel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Loi de la quantité de mouvement	
Forces. Principe des actions réciproques.	Établir un bilan des forces sur un système, ou plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur une figure. Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Quantité de mouvement d'un point et d'un système de points. Lien avec la vitesse du centre d'inertie d'un système fermé.	Établir l'expression de la quantité de mouvement d'un système restreint au cas de deux points sous la forme $\vec{p} = m\vec{v}(G)$.
Référentiel galiléen. Principe de l'inertie.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.

Influence de la résistance de l'air.	<p>Approche numérique : Prendre en compte la traînée pour modéliser une situation réelle.</p> <p>Approche numérique : Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats fournis par un logiciel d'intégration numérique.</p> <p>Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.</p>
Pendule simple.	<p>Établir l'équation du mouvement du pendule simple.</p> <p>Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.</p> <p>Établir l'équation du portrait de phase (intégrale première) dans ce cadre et le tracer.</p>
Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	<p>Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.</p> <p>Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Savoir que la puissance dépend du référentiel.
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.
Énergie potentielle. Énergie mécanique.	Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle).
Mouvement conservatif.	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.
Mouvement conservatif à une dimension.	<p>Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p> <p>Expliquer qualitativement le lien entre le profil d'énergie potentielle et le portrait de phase.</p>
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	Identifier cette situation au modèle de l'oscillateur harmonique.

	Approche numérique : utiliser les résultats fournis par une méthode numérique pour mettre en évidence des effets non linéaires.
Barrière de potentiel.	Évaluer l'énergie minimale nécessaire pour franchir la barrière.

Le **bloc 3**, centré sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel. Citer une application
Mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire. Approche documentaire : analyser des documents scientifiques montrant les limites relativistes en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ et $p = \gamma mv$. Citer une application

B. Deuxième semestre

1. Mécanique 2

Dans le **bloc 4**, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue. La rubrique 4.3 a pour seul objectif de montrer la nécessité de prendre en compte le travail des forces intérieures lorsqu'on applique la loi de l'énergie cinétique à un système déformable.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1 Loi du moment cinétique	
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.
Moment cinétique d'un système discret de points par rapport à un axe orienté.	Maîtriser le caractère algébrique du moment cinétique scalaire.
Généralisation au cas du solide en rotation autour d'un axe : moment d'inertie.	Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni. Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.
Moment d'une force par rapport à un point ou un axe orienté. Couple. Liaison pivot. Notions simples sur les moteurs ou freins dans les dispositifs rotatifs.	Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier. Définir un couple. Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire. Savoir qu'un moteur ou un frein contient nécessairement un stator pour qu'un couple puisse s'exercer sur le rotor.
Loi du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen.	Reconnaître les cas de conservation du moment cinétique.
Loi scalaire du moment cinétique appliquée au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	
Pendule de torsion.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement.
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement. Lire et interpréter le portrait de phase : bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement révolitif. Approche numérique : Utiliser les résultats fournis par un logiciel de résolution numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations. Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2 Approche énergétique du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen	
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser la relation $E_c = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$, l'expression de J_{Δ} étant fournie.
Loi de l'énergie cinétique pour un solide.	Établir l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3 Loi de l'énergie cinétique pour un système déformable	
Loi de l'énergie cinétique pour un système déformable.	Bilan énergétique du tabouret d'inertie. Prendre en compte le travail des forces intérieures. Utiliser sa nullité dans le cas d'un solide.

Le **bloc 5** est motivé par ses nombreuses applications. On se limite à discuter la nature de la trajectoire sur un graphe donnant l'énergie potentielle effective et on ne poursuit l'étude dans le cas d'un champ newtonien (lois de Kepler) que dans le cas d'une trajectoire circulaire. Le caractère elliptique des trajectoires associées à un état lié est affirmé sans qu'aucune étude géométrique des ellipses ne soit prévue ; on utilise dans ce cas les constantes du mouvement (moment cinétique et énergie mécanique) pour exprimer l'énergie de la trajectoire elliptique en fonction du demi-grand axe. Enfin l'approche de l'expérience de Rutherford est exclusivement documentaire : tout calcul de la déviation est exclu, il s'agit en revanche d'utiliser le graphe de l'énergie potentielle effective pour relier la distance minimale d'approche à l'énergie mise en jeu.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Mouvements dans un champ de force centrale conservatif	
Point matériel soumis à un seul champ de force centrale.	Déduire de la loi du moment cinétique la conservation du moment cinétique. Connaître les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.
Énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné à la valeur de l'énergie mécanique. Approche documentaire : Relier l'échelle spatiale sondée à l'énergie mise en jeu lors d'une collision en s'appuyant sur l'expérience de Rutherford.
Champ newtonien. Lois de Kepler.	Énoncer les lois de Kepler pour les planètes et les transposer au cas des satellites terrestres.
Cas particulier du mouvement circulaire : satellite, planète.	Montrer que le mouvement est uniforme et savoir calculer sa période.

	Établir la troisième loi de Kepler dans le cas particulier de la trajectoire circulaire. Exploiter sans démonstration sa généralisation au cas d'une trajectoire elliptique.
Satellite géostationnaire.	Calculer l'altitude du satellite et justifier sa localisation dans le plan équatorial.
Énergie mécanique dans le cas du mouvement circulaire puis dans le cas du mouvement elliptique.	Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire. Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement elliptique en fonction du demi-grand axe.
Vitesses cosmiques : vitesse en orbite basse et vitesse de libération.	Exprimer ces vitesses et connaître leur ordre de grandeur en dynamique terrestre.

2. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière S du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température *via* la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les élèves ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. Enfin, les élèves ont été sensibilisés à la notion d'irréversibilité en abordant le phénomène de diffusion thermique.

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

S'agissant de l'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire, il s'agit d'une introduction modeste: les étudiants doivent avoir compris pourquoi l'enthalpie intervient mais l'essentiel n'est pas la démonstration (qui sera reprise en deuxième année) ; il s'agit en revanche d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique, inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités liées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique. Libre parcours moyen.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité. Connaître quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens.
Description des caractères généraux de la distribution des vitesses moléculaires d'un gaz (homogénéité et isotropie). Vitesse quadratique moyenne. Pression cinétique.	Utiliser un modèle unidirectionnel avec une distribution discrète de vitesse pour montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et à la vitesse quadratique moyenne au carré.
Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.	Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
Système thermodynamique.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique. Connaître quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.

Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m=U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
Du gaz réel au gaz parfait.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	<p>Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T).</p> <p>Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.</p> <p>Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).</p> <p>Expliquer la problématique du stockage des fluides.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental d'étude des relations entre paramètres d'état d'un fluide à l'équilibre (corps pur monophasé ou sous deux phases)</p>
Équilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte.	Utiliser la notion de pression partielle pour adapter les connaissances sur l'équilibre liquide-vapeur d'un corps pur au cas de l'évaporation en présence d'une atmosphère inerte.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	<p>Définir le système.</p> <p>Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.</p> <p>Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.</p>
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.	<p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Identifier dans une situation expérimentale le ou les</p>

	<p>systèmes modélisables par un thermostat.</p> <p>Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.</p>
--	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
<p>Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$</p>	<p>Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q.</p> <p>Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.</p> <p>Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.</p> <p>Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion...).</p>
<p>Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.</p>	<p>Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.</p> <p>Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T.</p> <p>Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p>
<p>Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.</p>	<p>Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie	
<p>Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i/T_i$.</p>	<p>Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.</p> <p>Approche documentaire : interpréter qualitativement l'entropie en terme de désordre en s'appuyant sur la formule de Boltzmann.</p>

Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.
Loi de Laplace.	Exploiter l'extensivité de l'entropie. Connaître la loi de Laplace et ses conditions d'application.
Cas particulier d'une transition de phase.	Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.
Exemples d'études de machines thermodynamiques réelles à l'aide de diagrammes (p,h).	Utiliser le 1er principe dans un écoulement stationnaire sous la forme $h_2 - h_1 = w_u + q$, pour étudier une machine thermique .

3. Statique des fluides

Présentation et objectifs généraux de formation

La physique des milieux continus constitue une part importante des programmes de deuxième année PC et PSI. Dans ce domaine, on fait appel à des méthodes de pensée et des techniques de calcul qu'il est souhaitable d'aborder dès la première année. Cette partie du programme de PCSI est donc conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Partant du cas particulier de la statique des fluides dans le champ de pesanteur qui ne nécessite qu'un formalisme minimal, un des objectifs est de montrer à la fin de cette partie l'intérêt d'un formalisme plus poussé (introduction de l'opérateur gradient) pour passer à une formulation universelle d'une loi de la physique.

La statique des fluides permet également d'introduire le facteur de Boltzmann dont on affirmera la généralité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Distinguer le statut des forces de pression et des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\rho g$.	Connaître des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann. Approche documentaire : reconnaître un facteur de Boltzmann ; comparer $k_B T$ aux écarts d'énergie dans un contexte plus général.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Évaluer une résultante de forces de pression.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède. Exploiter la loi d'Archimède.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Équation locale de la statique des fluides.	Établir l'équation locale de la statique des fluides.

4. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants, puisque seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de première S. Cette partie s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit

dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole.

Le succès de cet enseignement au niveau de la classe de PCSI suppose le respect de ces limitations : cet enseignement n'est pas une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant
- utiliser la notion de moment magnétique
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques
- effectuer des bilans énergétiques
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction

Le **bloc 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de la classe de première S et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur. Une étude plus approfondie de la magnétostatique sera conduite en seconde année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Connaître l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et connaître son expression.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans le **bloc 2. « Actions d'un champ magnétique »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Actions d'un champ magnétique	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme. Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.

Le **bloc 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
<u>Flux d'un champ magnétique.</u> Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<u>Loi de Faraday.</u> Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit. Loi de modulation de Lenz. Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday. Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés. Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

Le **bloc 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur de tensions.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
<u>Auto-induction.</u> Flux propre et inductance propre. Étude énergétique.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modulation de Lenz. Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
<u>Cas de deux bobines en interaction.</u> Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale », le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné.

Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé. Transformateur de tension.	Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.

Le **bloc 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** est centré sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage, puis par adjonction d'une force de rappel un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
<u>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.</u> Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Freinage par induction	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
<u>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</u> Moteur à courant continu à entrefer plan. Haut-parleur électrodynamique.	Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu. Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace. Effectuer un bilan énergétique.

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Polariseur dichroïque
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Multiplieur analogique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PCSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires.

	Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt .	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1 + x)^\alpha$, e^x et $\ln(1 + x)$, et à

	l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques

Courbes planes paramétrées.	<p>n'étant pas traitée en mathématiques).</p> <p>Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.</p> <p>Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.</p>
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. (cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire: relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
6. Analyse vectorielle	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en

coordonnées cylindriques ou sphériques.
Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.

Ces capacités sont développées par le professeur de physique, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques.

Programme de Chimie de la voie PCSI

Le programme de chimie de la classe de PCSI s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en PCSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans l'interprétation et la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires, conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problème. Ces compétences et

les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de PCSI.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, physique, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'importance du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences générales spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- le second concerne l'identification, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, répondent donc à des objectifs différents :

- les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie (évolution, équilibre, relation structure-propriétés, ...).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, associée à une problématique clairement identifiée, et si possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et des incertitudes, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques et chimiques les plus souvent mesurées. Ces activités expérimentales visent à développer l'autonomie et l'initiative, qualités indispensables à l'exercice du métier d'ingénieur ou de chercheur.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Cette liste est délibérément placée en appendice du programme. L'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des savoir-faire techniques associés est ainsi explicitement exclue.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de celles-ci lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis,

mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en

toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux, ...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** relatives au programme de première année PCSI, dont l'acquisition et la pratique en autonomie par les étudiants ne doit s'entendre qu'à l'issue des deux années de formation en CPGE.

Une liste de matériels, que les étudiants doivent savoir utiliser avec éventuellement l'aide d'une notice succincte, figure en appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche

sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	<p>Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique.</p> <p>Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.</p>
<p>Notion d'incertitude, incertitude-type.</p> <p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>

Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Connaître la signification du coefficient de corrélation.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>
--	--

2 . Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue des deux années. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans le corps du programme – peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'organiseraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
2. Mesures de grandeurs physiques
3. Synthèses organiques et inorganiques
4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité. Il convient également de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites dans la partie « Compétences expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure dans l'**Appendice 1** du programme.

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>1. Prévention du risque chimique</p> <p>Règles de sécurité au laboratoire.</p> <p>Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques.</p> <p>Phrases H et P.</p>	<p>Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire.</p> <p>Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques .</p> <p>Développer une attitude autonome dans la</p>

	prévention des risques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume - Masse - pH - Conductance et conductivité - Tension - Température - Pouvoir rotatoire - Indice de réfraction - Absorbance	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, température, indice de réfraction, absorbance) en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

3. Synthèses organiques et inorganiques

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser expérimentalement les différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages ;
- connaître les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées (à l'exception des spectroscopies d'absorption IR et de RMN) ;
- être capable de proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement ;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, distillations sous pression ambiante et sous pression réduite (cette dernière étant strictement limitée à l'usage de l'évaporateur rotatif), recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre. Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de

Suivi de l'évolution de la transformation.	<p>refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux.</p> <p>Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.</p>
<p>Séparation et purification</p> <p>Séparation de deux liquides non miscibles.</p> <p>Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.</p> <p>Distillations</p> <p>Séparation d'un liquide et d'un solide</p> <p>Lavage d'un solide</p> <p>Recristallisation d'un solide</p> <p>Séchage d'un solide</p> <p>Séchage d'un liquide</p> <p>Rendement</p>	<p>Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'un produit, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures expérimentales. Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.</p> <p>Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.</p> <p>Mettre en œuvre différents types de distillation. Choisir ou proposer la méthode la plus adaptée au système étudié. Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif. Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié. Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage froid ou saturé, trituration, essorage. Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre. Mettre en œuvre « une pesée à masse constante » d'un solide humide. Choisir un desséchant solide et estimer correctement par l'observation la quantité à utiliser. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.</p>

4. Analyses qualitatives et quantitatives

On distinguera la caractérisation, le contrôle de pureté et le dosage d'une espèce chimique.

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser les différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives

- et quantitatives ;
- être capable de proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'un composé, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié ;
 - distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives.

Les techniques utilisées lors des analyses quantitatives sont les suivantes :

- pH-métrie
- Conductimétrie
- Potentiométrie à intensité nulle
- Spectrophotométrie UV-visible
- Polarimétrie
- Réfractométrie
- Chromatographie sur couche mince

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>1. Caractérisation d'un composé et contrôle de sa pureté</p> <p>Chromatographies sur couche mince.</p> <p>Tests de reconnaissance ; témoin.</p> <p>Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques du composé (les principes théoriques de la RMN et de la spectroscopie d'absorption IR sont hors programme).</p>	<p>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince. Justifier la méthode de révélation utilisée.</p> <p>Interpréter l'ordre d'éluion des différents composés en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.</p> <p>Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.</p> <p>Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits.</p> <p>Relever la température d'un palier de distillation.</p> <p>Mesurer une température de fusion.</p> <p>Mesurer un indice de réfraction.</p> <p>Mesurer un pouvoir rotatoire.</p> <p>Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts.</p> <p>Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial.</p>
<p>2. Dosages par étalonnage</p>	<p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.</p>
<p>3. Dosages par titrage</p> <p>Titrages directs, indirects.</p> <p>Équivalence.</p> <p>Titrages simples, successifs, simultanés.</p> <p>Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à</p>	<p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé).</p> <p>Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher.</p>

<p>intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.</p> <p>Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.</p>	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect.</p> <p>Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.</p> <p>Exploiter une courbe de titrage pour déterminer le titre en espèce dosée.</p> <p>Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de répartitions et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.</p> <p>Justifier la nécessité de faire un titrage indirect.</p> <p>Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.</p> <p>Déterminer les conditions optimales qui permettent à l'équivalence et au repérage de la fin du titrage de coïncider.</p>
<p>4. Suivi cinétique de transformations chimiques</p> <p>Suivi en continu d'une grandeur physique.</p> <p>Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement.</p> <p>Régulation de la température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi tenant compte de la facilité de mise en œuvre, des propriétés des composés étudiés, du temps de réaction estimé ou fourni.</p> <p>Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.</p> <p>Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse.</p> <p>Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.</p>

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé, par exemple :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière ;
Les domaines d'activités qui se prêtent particulièrement à la simulation sont les titrages en solution aqueuse, la cristallographie, la modélisation moléculaire, la cinétique chimique. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé ;
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Contenus disciplinaires

L'organisation des modules par semestre se fait comme suit :

Premier semestre PCSI

I. Transformation de la matière

1. Description et évolution d'un système vers un état final

2. Évolution temporelle d'un système et mécanismes réactionnels
- II. Architecture de la matière
 1. Classification périodique des éléments et électronégativité
 2. Molécules et solvants
 - III. Structure, réactivité et transformations en chimie organique 1

Deuxième semestre PCSI-PC

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses
- VI. Réactivité et transformations en chimie organique 2

Deuxième semestre PCSI-PSI

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses

Premier Semestre

I. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation.

Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, l'étude quantitative de l'état final d'un système en transformation chimique est réalisée à partir d'une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. L'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final ; on s'appuiera sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel. Les compétences relatives à cette partie du programme seront ensuite mobilisées régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la partie thermodynamique chimique. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de Terminale, permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de sa loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle voire à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées pour la première fois en PCSI, il est recommandé de travailler en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques et d'avoir en chimie des exigences progressives dans la maîtrise de cet outil.

La modélisation au niveau microscopique d'une transformation chimique par un mécanisme réactionnel complète l'étude cinétique macroscopique de la réaction chimique et permet d'aborder la notion de catalyse ; des exemples de catalyses homogènes, hétérogènes et enzymatiques seront rencontrés tout au long de la formation.

Une ouverture à la cinétique en réacteur ouvert, dans un cadre très limité, permet en complément

d'appréhender la différence d'approche à l'échelle industrielle et de montrer l'utilité d'un tel dispositif pour la détermination expérimentale de la loi de vitesse.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique ;
- distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle ;
- proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

1 – Description d'un système et évolution vers un état final

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin, variétés allotropiques Notion de phase. Transformations physique, chimique, nucléaire. Les transformations physiques: diagramme d'état (P, T).	Reconnaître la nature d'une transformation. Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T . Approche documentaire : à partir de documents, analyser le rôle des fluides supercritiques en génie des procédés dans le cadre d'une chimie respectueuse de l'environnement.
Système physico-chimique	
Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique	
Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Équation de réaction ; constante thermodynamique d'équilibre. Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient réactionnel, critère d'évolution.	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée. Déterminer une constante d'équilibre. Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard. Exprimer le quotient réactionnel. Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.

Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.

Identifier un état d'équilibre chimique.
Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.

2 – Évolution temporelle d'un système chimique et mécanismes réactionnels

Notions et contenus	Capacités exigibles
En réacteur fermé de composition uniforme	
<p>Vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit. Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction. Temps de demi-vie d'un nucléide radioactif.</p> <p>Loi empirique d'Arrhenius ; énergie d'activation</p>	<p>Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique.</p> <p>Relier la vitesse de réaction, dans les cas où elle est définie, à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.</p> <p>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</p> <p>Exprimer la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique. Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction. Confirmer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant strictement à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour des radionucléides, aborder par exemple les problématiques liées à leur utilisation, leur stockage ou leur retraitement.</p> <p>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique. Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p>
Mécanismes réactionnels	
<p>Actes élémentaires, molécularité, intermédiaire réactionnel, état de transition.</p> <p>Mécanismes limites des substitutions nucléophiles aliphatiques.</p>	<p>Distinguer l'équation chimique symbolisant une réaction chimique de l'équation traduisant un acte élémentaire.</p> <p>Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un complexe activé (état de transition). Exprimer la loi de vitesse d'un acte élémentaire. Tracer un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire ou à plusieurs actes</p>

<p>Interprétation du rôle du catalyseur.</p> <p>Étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire (AEQS).</p>	<p>élémentaires successifs.</p> <p>Reconnaître un effet catalytique dans un mécanisme réactionnel.</p> <p>Approche numérique : utiliser les résultats d'une méthode numérique pour mettre en évidence les approximations de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire.</p> <p>Reconnaître les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire.</p> <p>Établir la loi de vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel simple en utilisant éventuellement les approximations classiques.</p>
<p>Approche de la cinétique en réacteur ouvert</p>	
<p>Réacteur ouvert parfaitement agité continu fonctionnant en régime permanent, dans le cas où les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux.</p> <p>Temps de passage.</p>	<p>Exprimer la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à l'aide d'un bilan de matière instantané.</p> <p>Établir la loi de vitesse à partir de mesures fournies.</p>

II. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. En première année, on se limite aux principales caractéristiques de la liaison chimique, à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires qui sera étudiée en seconde année.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles de description des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité,...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état,...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- dans le cadre du modèle de Lewis, deux nouveautés sont introduites : les extensions de la règle de l'octet et le concept de délocalisation électronique, à travers le modèle de la mésomérie. Dans ce dernier cas, les compétences sont d'une part de repérer les situations où l'écriture de formules mésomères est nécessaire et, d'autre part, d'interpréter les propriétés des molécules à électrons délocalisés ;
- l'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible ;
- la polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première S, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible ;
- la description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de

changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces. La notion de liaison hydrogène intramoléculaire est également introduite.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité,...) ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- s'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
- appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

1 – Classification périodique des éléments et électronégativité

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
<p>Isotopes, abondance isotopique, stabilité. Ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et du noyau.</p> <p>Quantification de l'énergie et spectroscopies (UV-Visible, IR, RMN).</p> <p>Nombres quantiques n, l, m_l et m_s</p> <p>Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence.</p>	<p>Utiliser un vocabulaire précis : élément, atome, corps simple, espèce chimique, entité chimique.</p> <p>Associer un type de transition énergétique au domaine du spectre électromagnétique correspondant. Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.</p> <p>Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électroniques d'un atome donné. Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). Déterminer le nombre d'électrons non appariés d'un atome dans son état fondamental. Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.</p>
Classification périodique des éléments	
<p>Architecture et lecture du tableau périodique</p> <p>Électronégativité</p>	<p>Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant.</p> <p>Positionner dans le tableau périodique et reconnaître les métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles. Citer les éléments des périodes 1 à 3 de la classification et de la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique). Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains</p>

<p>Rayon atomique Rayon ionique</p>	<p>corps simples. Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne.</p> <p>Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.</p> <p>Interpréter l'évolution du rayon atomique dans la classification périodique en utilisant la notion qualitative de nombre de charge effectif. Interpréter la différence de valeur entre le rayon d'un atome et le rayon de ses ions.</p>
---	--

2 – Molécules et solvants

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des entités chimiques moléculaires	
<p>Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée et délocalisée. Ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente.</p> <p>Structure géométrique d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Méthode VSEPR.</p> <p>Liaison polarisée. Molécule polaire. Moment dipolaire.</p>	<p>Établir un ou des schémas de Lewis pour une entité donnée et identifier éventuellement le plus représentatif. Identifier les écarts à la règle de l'octet. Identifier les enchaînements donnant lieu à délocalisation électronique. Mettre en évidence une éventuelle délocalisation électronique à partir de données expérimentales.</p> <p>Représenter les structures de type AX_n, avec $n \leq 6$. Prévoir ou interpréter les déformations angulaires pour les structures de type AX_pE_q, avec $p+q = 3$ ou 4. Relier la structure géométrique d'une molécule à l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une molécule ou d'une liaison.</p>
Forces intermoléculaires	
<p>Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène. Ordres de grandeur énergétiques.</p>	<p>Lier qualitativement la valeur plus ou moins grande des forces intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules. Prévoir ou interpréter les propriétés liées aux conformations ou aux propriétés spectroscopiques d'une espèce. Prévoir ou interpréter les propriétés physiques de corps purs par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène inter ou intramoléculaires.</p>
Les solvants moléculaires	
<p>Grandeurs caractéristiques : moment dipolaire, permittivité relative.</p>	<p>Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants.</p>

Solvants protogènes (protiques). Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la valeur d'une constante de partage. Justifier ou proposer le choix d'un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la mise en œuvre de certaines réactions, à la réalisation d'une extraction et aux principes de la chimie verte.
--	--

III. Structures, réactivités et transformations en chimie organique 1

L'objectif de cette partie est, d'une part, de faire comprendre les enjeux et la logique de la synthèse organique, et, d'autre part, de décrire, d'analyser et de modéliser les transformations organiques à l'échelle microscopique.

Cela nécessite l'acquisition de compétences liées à la description géométrique des structures, à l'analyse de la réactivité des espèces et à la description des grands types de réactions, ainsi qu'à l'utilisation d'outils d'analyse spectroscopique. Certaines notions ont déjà été introduites au lycée (diastéréo-isomères *Z/E*, énantiomères, mélange racémique, conformations, sites accepteur et donneur d'électrons, mouvement de doublet et flèche courbe, modification de chaîne et de groupe caractéristique, substitution, addition, élimination) ; elles seront réactivées et approfondies, notamment par le biais des activités expérimentales.

Sans donner lieu à une étude systématique, l'utilisation de la nomenclature IUPAC des composés, déjà engagée dans le secondaire, s'enrichit au fur et à mesure des besoins.

Les monohalogénoalcanes sont choisis comme exemple de substrats pouvant subir des substitutions nucléophiles et des β -éliminations. Ils conduisent aussi à la formation d'organométalliques, premier exemple de composés présentant un atome de carbone nucléophile et pouvant donner lieu à des additions nucléophiles sur des composés possédant une double liaison C=O. Les notions sont ainsi présentées sur des exemples donnés, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement sur des situations analogues. Ainsi, une présentation par mécanismes ou de type fonctionnelle peut être envisagée, au libre choix de l'enseignant. Néanmoins, il s'agit de privilégier une approche mécanistique pour faire comprendre et maîtriser les raisonnements plutôt que pour empiler les connaissances.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer un schéma de synthèse ;
- maîtriser et utiliser différentes représentations schématiques d'un objet ;
- relier les grandeurs spectroscopiques à la structure de l'espèce chimique étudiée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des molécules organiques	
Représentations topologique, de Cram, de Newman, perspective. Descripteurs stéréochimiques <i>R</i> , <i>S</i> , <i>Z</i> , <i>E</i> . Stéréoisomérisation de configuration : énantiomérisation, diastéréoisomérisation. Stéréoisomérisation de conformation en série aliphatique non cyclique et cyclohexanique.	Représenter une molécule à partir de son nom, fourni en nomenclature systématique, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques, en utilisant un type de représentation donné. Attribuer les descripteurs stéréochimiques aux centres stéréogènes. Déterminer la relation d'isomérisation entre deux structures. Comparer la stabilité de plusieurs conformations.

<p>Ordre de grandeur de la barrière énergétique conformationnelle.</p> <p>Séparation d'énantiomères et synthèse stéréosélective.</p>	<p>Interpréter la stabilité d'un conformère donné.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents, illustrer et analyser le rôle essentiel de la diastéréo-isomérie lors de synthèses énantiosélectives et de séparations d'énantiomères.</p>
<p>Analyses polarimétrique et spectroscopique</p>	
<p>Activité optique, pouvoir rotatoire. Loi de Biot.</p> <p>Spectroscopies d'absorption UV-visible et IR.</p> <p>Spectroscopie de RMN du proton :</p> <ul style="list-style-type: none"> - notion de déplacement chimique et de constante de couplage ; - analyse de spectres du premier ordre de type $A_mX_p, A_mM_pX_q$. 	<p>Pratiquer une démarche expérimentale utilisant l'activité optique d'une espèce chimique.</p> <p>Relier la valeur du pouvoir rotatoire d'un mélange de stéréoisomères à sa composition. Établir ou confirmer une structure à partir de tables de données spectroscopiques (nombres d'onde, déplacements chimiques, constantes de couplage).</p> <p>Extraire d'un spectre les valeurs de déplacement chimique et les valeurs des constantes de couplage.</p>
<p>Mécanismes en chimie organique</p>	
<p>Substitution nucléophile aliphatique : mécanismes limites S_N2 et S_N1 ; propriétés cinétiques et stéréochimiques.</p> <p>β-élimination $E2$; propriétés cinétiques et stéréochimiques, régiosélectivité.</p> <p>Addition nucléophile sur l'exemple des réactions opposant un organomagnésien mixte et un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone ; conditions opératoires.</p> <p>Compétitions substitution-élimination.</p>	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation simple en chimie organique.</p> <p>Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.</p> <p>Identifier les sites électrophiles et/ou nucléophiles d'une entité chimique.</p> <p>Utiliser le formalisme des flèches courbes pour décrire un mécanisme en chimie organique.</p> <p>Exploiter les notions de polarité et de polarisabilité pour analyser ou comparer la réactivité de différents substrats.</p> <p>Justifier le choix d'un mécanisme limite S_N1 ou S_N2 par des facteurs structuraux des substrats ou par des informations stéréochimiques sur le produit.</p> <p>Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique (substitution nucléophile, β-élimination $E2$) en utilisant un vocabulaire précis.</p> <p>Déterminer le produit formé lors de la réaction d'un organomagnésien mixte sur un aldéhyde, une cétone ou le dioxyde de carbone et inversement, prévoir les réactifs utilisés lors de la synthèse magnésienne d'un alcool ou d'un acide carboxylique.</p> <p>Tracer, commenter et utiliser un profil énergétique à l'échelle microscopique.</p>

Contrôle cinétique, contrôle thermodynamique. Un modèle pour l'état de transition : le postulat de Hammond.	Reconnaître les conditions d'utilisation du postulat de Hammond et prévoir l'obtention des produits lorsque deux réactions sont en compétition.
Stratégie de synthèse en chimie organique	
Intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carbonée ; structure et réactivité des organomagnésiens mixtes ; préparation à partir des halogénoalcanes et des alcynes terminaux.	Décrire et mettre en œuvre le protocole expérimental de préparation d'un organomagnésien mixte par insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Mettre en œuvre un protocole de synthèse magnésienne et en justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.
Approche élémentaire de la stratégie de synthèse : analyse rétrosynthétique.	Justifier l'inversion de polarité sur l'atome de carbone résultant de l'insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Concevoir une stratégie de synthèse pour une molécule simple.

Second Semestre – Option PC

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
---------------------	---------------------

Modèle du cristal parfait	
<p>Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.</p> <p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</p> <p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.</p>
<p>Métaux et cristaux métalliques</p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle cubique à faces centrées (CFC) et ses sites interstitiels</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<p>Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement.</p> <p>Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p> <p>Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p> <p>Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.</p>
<p>Solides macrocovalents et moléculaires</p>	<p>Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies)</p>
<p>Solides ioniques</p>	<p>Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les</p>

	propriétés macroscopiques des solides ioniques. Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.
--	---

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non de complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées, puis les complexes sont introduits au travers de leurs réactions de formation et de dissociation. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion

d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1 – Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
<p>Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène.</p> <p>Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence.</p> <p>Diagrammes de prédominance ou d'existence.</p>	<p>Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p>
Réactions d'oxydo-réduction	
<p>Aspect thermodynamique. Dismutation et médiatisation.</p>	<p>Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.</p>

2 – Réactions acide-base, de complexation, de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles	
Réactions acido-basiques		
<ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac ; - solutions tampon. 	<p>Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses. Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou pour interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	
Réactions de complexation		
<ul style="list-style-type: none"> - constantes de formation ou de dissociation. - diagramme de prédominance en fonction de pL. 		
Réactions de dissolution ou de précipitation		
<ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; 		

<ul style="list-style-type: none"> - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 	<p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide ou en gaz.</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses.</p> <p>Utiliser une solution tampon de façon pertinente.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu une résine échangeuse d'ions.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>
--	---

3 – Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL	
<p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL.</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données.</p> <p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH ou potentiel-pL.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes.</p> <p>Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau.</p> <p>Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pL ou du pH du milieu.</p> <p>Prévoir une éventuelle dismutation ou médiadmutation.</p> <p>Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.</p>

VI. Réactivité et transformations en chimie organique 2

Les objectifs de cette deuxième partie de programme en chimie organique sont doubles.

D'une part, on s'attache à :

- réinvestir et compléter les connaissances et compétences mécanistiques acquises au premier semestre,
- poursuivre l'acquisition de connaissances concernant les interconversions entre groupes caractéristiques, notamment par les réactions d'oxydo-réduction,
- introduire une première approche de la chimie organique du vivant avec le glucose.

D'autre part, on complète les apports et la réflexion concernant la stratégie de synthèse. Au delà de l'analyse rétrosynthétique déjà introduite au premier semestre, on introduit les notions de protection de groupes caractéristiques et d'activation *in situ* (protonation) ou par synthèse préalable d'un dérivé plus réactif, poursuivant ainsi l'analyse de la réactivité des espèces et les choix qui en découlent en synthèse organique.

Si la construction du programme privilégie ici une approche liée à stratégie de synthèse, elle n'entrave évidemment pas la liberté pédagogique du professeur dans le choix de sa présentation et de sa progression.

La maîtrise des techniques courantes en chimie organique est renforcée par les séances de travaux pratiques choisies de manière à construire, en deux ans, une acquisition effective de l'ensemble des compétences expérimentales attendues.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- analyser des problèmes de complexité croissante ;
- identifier dans une situation complexe la partie utile au raisonnement ;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

1 – Activation et protection de groupe caractéristique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Activation de groupe caractéristique	
Activation nucléophile des alcools et phénols. Formation d'alcoolates par réaction acido-basique ou d'oxydo-réduction. Synthèse de Williamson.	Comparer la nucléophilie d'alcools de différentes classes à l'aide d'arguments stériques. Comparer la nucléophilie d'un alcool et de son alcoolate Choisir une base pour déprotoner un alcool ou un phénol à partir d'une échelle de pK_a . Proposer un mécanisme limite en analysant les conditions opératoires et les caractéristiques structurales des réactifs. Proposer une voie de synthèse d'un étheroxyde dissymétrique.
Activation électrophile des alcools : - Activation <i>in situ</i> par protonation · déshydratation acido-catalysée d'un alcool tertiaire (conditions opératoires, régiosélectivité et stéréosélectivité éventuelles, mécanisme limite E1) ; compétition substitution-élimination dans le cas des alcools secondaires et	Interpréter la formation de produits indésirables par la compétition entre les réactions de substitution et d'élimination. Comparer les réactivités des liaisons carbone-groupe caractéristique dans le cas des halogénoalcanes, des alcools, des esters sulfoniques et des ions alkyloxonium. Prévoir les produits pouvant se former lors de la

<p>tertiaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> · conversion d'un alcool en halogénoalcane par action d'une solution concentrée d'halogénure d'hydrogène (conditions opératoires, mécanismes limites). <p>- Formation d'esters sulfoniques</p> <ul style="list-style-type: none"> · formation d'alcène par élimination basique sur un mésylate (conditions opératoires). · formation d'halogénoalcane par substitution sur un tosylate ou un mésylate (conditions opératoires). · formation d'époxyde par substitution intramoléculaire. <p>Activation électrophile du groupe carbonyle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acétalisation des aldéhydes et des cétones : conditions expérimentales (APTS, appareillage de Dean-Stark), mécanisme limite de l'acétalisation en milieu acide. - Hémiacétalisation acido-catalysée du glucose : conditions opératoires, mécanisme limite de l'hémiacétalisation en milieu acide. 	<p>déshydratation d'un alcool, indiquer le ou les produits majoritaires. Préciser la stéréosélectivité éventuelle de la formation d'époxydes.</p> <p>Commenter dans une synthèse multi-étapes le choix d'une activation <i>in situ</i> par protonation ou par passage par un tosylate ou un mésylate.</p> <p>Expliquer qualitativement l'augmentation de l'électrophilie du groupe carbonyle par protonation de celui-ci.</p> <p>Discuter la régiosélectivité de la réaction d'hémiacétalisation du glucose. Interpréter la mutarotation du glucose par le caractère renversable de l'hémiacétalisation.</p>
--	--

Protection de groupe caractéristique

<p>Protection/déprotection du groupe carbonyle par un diol (conditions expérimentales, mécanisme de l'hydrolyse acide).</p> <p>Protection/déprotection du groupe hydroxyle par formation d'un étheroxyde benzylique.</p>	<p>Justifier la nécessité de protéger un groupe caractéristique dans une synthèse multi-étapes.</p> <p>Identifier les étapes de protection et de déprotection d'un groupe carbonyle, d'un groupe hydroxyle, d'un diol 1,2 ou 1,3 dans une synthèse multi-étapes.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents, identifier différents modes de protection/déprotection du groupe hydroxyle impliquant notamment des éthers silylés.</p>
--	---

2 – Réactions d'oxydo-réduction en chimie organique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Du groupe alkyle au groupe carboxyle et inversement	
<p>Les groupes caractéristiques et leur niveau d'oxydation.</p> <p>Oxydation des alcools selon leur classe ; principe de l'oxydation contrôlée des alcools primaires.</p>	<p>Identifier, le cas échéant, une interconversion entre groupes caractéristiques comme un processus d'oxydation ou de réduction du substrat ; associer les demi équations d'oxydo-réduction correspondantes.</p> <p>Déterminer le ou les produits d'oxydation d'un alcool selon sa classe.</p> <p>Identifier le produit d'oxydation d'un alcool primaire à l'aide de données expérimentales ou</p>

	spectroscopiques.
Oxydation des alcènes	
Passage au diol par action catalytique de OsO ₄ en présence d'un co-oxydant. Coupure oxydante par action d'un mélange OsO ₄ /NaIO ₄ (oxydation de Lemieux-Johnson) principe et conditions opératoires, intérêt en stratégie de synthèse.	Représenter un cycle catalytique simple. Identifier le catalyseur dans un cycle catalytique donné.
Réduction des composés carbonylés	
Réduction des composés carbonylés en alcool par action du tétrahydroborate de sodium (conditions opératoires, mécanisme réactionnel).	Analyser à l'aide de données expérimentales la chimiosélectivité de réducteurs dans le cadre d'une stratégie de synthèse.

Second Semestre– Option PSI

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline

<p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</p> <p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.</p>
<p>Métaux et cristaux métalliques</p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle cubique faces centrées (CFC) et ses sites interstitiels</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<p>Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement.</p> <p>Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p> <p>Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p> <p>Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.</p>
<p>Solides macrocovalents et moléculaires</p>	<p>Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée.</p> <p>Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants.</p> <p>Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies)</p>
<p>Solides ioniques</p>	<p>Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques.</p> <p>Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.</p>

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non de complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées, puis les complexes sont introduits au travers de leurs réactions de formation et de dissociation. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1 – Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
<p>Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène.</p> <p>Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence.</p> <p>Diagrammes de prédominance ou d'existence.</p>	<p>Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p>
Réactions d'oxydo-réduction	
<p>Aspect thermodynamique. Dismutation et médiatisation.</p>	<p>Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.</p>

2 – Réactions acide-base, de complexation, de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles		
Réactions acido-basiques			
<ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac ; - solutions tampon. 	<p>Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses. Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou pour interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide ou en gaz.</p>		
Réactions de complexation			
<ul style="list-style-type: none"> - constantes de formation ou de dissociation. - diagramme de prédominance en fonction de pL. 		Réactions de dissolution ou de précipitation	
Réactions de dissolution ou de précipitation			
<ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 			

	<p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses. Utiliser une solution tampon de façon pertinente. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu une résine échangeuse d'ions.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>
--	---

3 – Diagrammes potentiel-pH

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diagrammes potentiel-pH	
<p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH.</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données.</p> <p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes.</p> <p>Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau.</p> <p>Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pH du milieu.</p> <p>Prévoir une éventuelle dismutation ou médiamutation.</p> <p>Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.</p>

Appendice 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare

ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.

- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions

- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : Outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PCSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année ; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).

Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.
Courbes planes paramétrées.	Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. (cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire: relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
6. Analyse vectorielle	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes. (Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques)

Programme de physique de la voie PC

Le programme de physique de la classe de PC s'inscrit dans la continuité du programme de PCSI. Il s'appuie sur des champs disciplinaires variés : optique interférentielle, phénomènes de transports, mécanique des fluides, électromagnétisme, propagation d'ondes ; en outre il propose des introductions à la physique des lasers et à la physique quantique. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de PC, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de PC. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche

documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique de la classe de PC inclut celui de la classe de PCSI, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de PCSI, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de PC. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de PC. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Trois appendices listent le matériel, les outils mathématiques et les outils transversaux que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de PC. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et chimie.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre

de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible

	<ul style="list-style-type: none"> ○ utiliser un vocabulaire scientifique adapté ○ s'appuyer sur des schémas, des graphes
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.

Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	- Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	- Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du

	ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	- Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure, ... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau, ... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	- Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, ...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	- Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation, ... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

Partie 2 : Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de PC durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante de PCSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc naturellement au programme de seconde année PC.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles Caractéristiques spatiales d'un émetteur (ondes lumineuses, ondes acoustiques, ondes centimétriques...)	Construire l'indicatrice de rayonnement. Étudier la dépendance par rapport à la distance au récepteur.
2. Mesures de temps et de fréquences Fréquence ou période : <ul style="list-style-type: none"> Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en utilisant une détection 	Réaliser une détection « synchrone » élémentaire à l'aide d'un multiplieur et d'un passe-bas simple adapté à la mesure.

Partie 3 : Formation disciplinaire

Dans cette partie du programme, il est parfois évoqué une approche descriptive de telle ou telle notion. Il s'agit là d'une introduction essentiellement qualitative de cette notion ou phénomène, dont l'évaluation ne peut conduire à des développements quantitatifs et calculatoires.

1. Optique

Présentation

Le programme de PC s'inscrit dans la continuité de la rubrique « signaux physiques » du programme de PCSI. Dans le bloc 1 on introduit les éléments spécifiques à l'émission, la propagation et la détection des ondes lumineuses. Puis les blocs 2-4 traitent essentiellement des interférences lumineuses avec un cheminement naturel du simple au compliqué : partant des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle strictement monochromatique, on étudie ensuite l'évolution de la visibilité sous l'effet d'un élargissement spatial et spectral de la source. Le brouillage des franges précédentes sous l'effet d'un élargissement spatial conduit à montrer un des avantages de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue (franges d'égale inclinaison et franges d'égale épaisseur) en constatant expérimentalement l'existence d'un lieu de localisation des franges. L'objectif de cette partie n'est pas le calcul d'intensités de la lumière : on exploite le plus souvent les variations de l'ordre d'interférences (avec la position du point d'observation, la position du point source et la longueur d'onde) pour interpréter les observations sans expliciter l'intensité de la lumière.

L'analyse de Fourier joue un rôle important dans cette partie, d'une part dans le domaine temporel pour décomposer une onde réelle en ondes monochromatiques et d'autre part dans le domaine spatial pour décomposer le coefficient de transmission d'une mire en un fond continu plus une somme de fonctions sinusoïdales. Comme dans l'ensemble du programme de PC on se limite à une approche semi-quantitative. Il s'agit exclusivement :

- de décomposer un signal en composantes sinusoïdales sans chercher à expliciter les amplitudes et phases de ces composantes ;
- d'utiliser le fait que le spectre d'un signal périodique de fréquence f est constitué des fréquences nf avec n entier ;
- d'utiliser la relation en ordre de grandeur entre la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Objectifs généraux de formation

- Faire le lien entre des descriptions complémentaires en termes de rayons lumineux et en termes d'ondes ;
- utiliser les propriétés d'un récepteur de lumière pour distinguer ce qui est accessible directement à la mesure en optique (intensité, déphasage entre deux ondes) et ce qui ne l'est pas (phase d'une onde) ;
- utiliser l'analyse de Fourier et exploiter la notion de spectre ; transposer ces notions du domaine temporel au domaine spatial ;
- prendre conscience des enjeux métrologiques en mesurant à l'échelle humaine des grandeurs temporelles et spatiales du domaine microscopique ;

- prendre conscience de l'existence de phénomènes aléatoires (temps de cohérence d'une radiation émise par une source).

Le bloc 1 introduit les outils nécessaires. La réponse des récepteurs est environ proportionnelle à la moyenne du carré du champ électrique de l'onde. Le programme utilise uniquement le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » et « éclairement » sans chercher à les distinguer à ce niveau de formation. La loi de Malus (orthogonalité des rayons lumineux et des surfaces d'ondes dans l'approximation de l'optique géométrique) est admise. Dans le cadre de l'optique, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à la forme des surfaces d'ondes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
<p>a) Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.</p> <p>Chemin optique. Déphasage dû à la propagation.</p> <p>Surfaces d'ondes. Loi de Malus.</p> <p>Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.</p>	<p>Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.</p> <p>Exprimer le retard de phase en un point en fonction du retard de propagation ou du chemin optique.</p> <p>Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image.</p> <p>Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde.</p>
<p>b) Modèle d'émission. Approche expérimentale de la longueur de cohérence temporelle. Relation entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.</p>	<p>Classifier différentes sources lumineuses (lampe spectrale basse pression, laser, source de lumière blanche...) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations et connaître quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour relier le temps de cohérence et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation considérée.</p>
<p>c) Récepteurs. Intensité.</p>	<p>Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.</p> <p>Citer le temps de réponse de l'œil. Choisir un récepteur en fonction de son temps de réponse et de sa sensibilité fournis.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Superposition d'ondes lumineuses	
<p>Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi$.</p>	<p>Établir la formule de Fresnel. Citer la formule de Fresnel et justifier son utilisation par la cohérence des deux ondes.</p>

Contraste.	Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.
Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique dans le cas $N \gg 1$.	Utiliser un grapheur pour discuter l'influence de N sur la finesse sans calculer explicitement l'intensité sous forme compacte. Utiliser la construction de Fresnel pour établir la condition d'interférences constructives et la demi-largeur $2\pi/N$ des franges brillantes.

Dans le bloc 3, les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. En revanche, les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucun autre interféromètre à division du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à grande distance finie et observation à grande distance finie. Champ d'interférences. Ordre d'interférences p .	Savoir que les franges ne sont pas localisées. Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.
Variations de p avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.	Interpréter la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous d'Young.
Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.	Confronter les deux dispositifs : analogies et différences.
Variation de p par rajout d'une lame à faces parallèles sur un des trajets.	Interpréter la modification des franges
Variations de p avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement spatial de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $ \Delta p > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.
Variations de p avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $ \Delta p > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence, $\Delta\lambda$ et λ en ordre de grandeur.
Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.
Généralisation au montage de Fraunhofer : trous d'Young ; ensemble de N trous alignés équidistants.	Confronter ce modèle à l'étude expérimentale du réseau plan.

Dans le bloc 4, l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. En revanche, l'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson	
a) Interféromètre de Michelson équivalent à une lame d'air éclairée par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale inclinaison.	Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde. Mesurer l'écart $\Delta\lambda$ d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation. Interpréter les observations en lumière blanche.
b) Interféromètre de Michelson équivalent à un coin d'air éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale épaisseur.	Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Admettre et utiliser l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences. Analyser un objet (miroir déformé, lame de phase introduite sur un des trajets, etc...). Interpréter les observations en lumière blanche.

Le bloc 5 est essentiellement expérimental.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Approche expérimentale : onde transmise par un objet diffractant plan éclairé par une onde plane sous incidence normale.	
Réseau unidimensionnel d'extension infinie de coefficient de transmission $t(X)$ sinusoïdal et de pas supérieur à la longueur d'onde. Plan de Fourier.	Construire l'onde transmise par superposition de trois ondes planes définies par la condition aux limites sur le réseau. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Mire unidimensionnelle d'extension latérale infinie de N traits parallèles équidistants. Fréquence spatiale.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la mire à la position d'un point du plan de Fourier. Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Fente rectiligne de coefficient de transmission uniforme.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la fente à la position d'un point du plan de Fourier. Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.

	Faire le lien avec la relation $\sin \theta = \lambda/a$ vue en première année.
Filtrage optique	Utiliser l'analyse de Fourier pour interpréter les effets d'un filtrage de fréquences spatiales dans le plan de Fourier .

2. Thermodynamique

Présentation

Le programme de thermodynamique de PC s'inscrit dans le prolongement du programme de PCSI : les principes de la thermodynamique peuvent être désormais écrits sous forme infinitésimale $dU + dE = \delta W + \delta Q$ et $dS = \delta S_e + \delta S_c$ pour un système évoluant entre deux instants t et $t+dt$ infiniment proches, d'une part dans le cadre de l'étude des machines thermiques avec écoulement en régime stationnaire et d'autre part dans le cadre de l'étude de la diffusion thermique. Les expressions des variations infinitésimales dU et dS en fonction des variables d'état doivent être fournies pour les systèmes envisagés.

Lors de l'étude de la diffusion de particules on néglige la convection. La mise en équation de la diffusion thermique est limitée au cas des solides ; on peut utiliser les résultats ainsi établis dans des fluides en l'absence de convection en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides. Par ailleurs on néglige le rayonnement thermique qui fait l'objet d'une approche documentaire.

Cette rubrique contribue à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien) mais le formalisme doit rester au deuxième plan. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries cartésiennes unidimensionnelles. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle, ce qui permet de traiter des problèmes dans d'autres géométries en fournissant les expressions de la divergence et du laplacien.

Enfin, aucune connaissance sur les solutions d'une équation de diffusion ne figure au programme. La loi phénoménologique de Newton à l'interface entre un solide et un fluide peut être utilisée dès lors qu'elle est fournie.

Objectifs généraux de formation

Le cours de thermodynamique de PC permet une révision du cours de thermodynamique de PCSI et contribue à asseoir les compétences correspondantes. Au-delà, l'étude des phénomènes de diffusion contribue à la formation générale en physique des milieux continus en introduisant des outils formels puissants (divergence, laplacien) dans un contexte concret. Les compétences développées sont :

- réaliser des bilans sous forme globale et locale ;
- manipuler des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions initiales, conditions aux limites) ;
- mettre en évidence l'analogie entre les différentes équations locales traduisant le bilan d'une grandeur scalaire extensive ;
- mettre en évidence un squelette algébrique commun à plusieurs phénomènes physiques ;
- utiliser les trois échelles macroscopique, mésoscopique et microscopique ;
- distinguer une loi phénoménologique et une loi universelle ;
- utiliser une description probabiliste d'un phénomène physique ;

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Systèmes ouverts en régime stationnaire	
Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.	Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T,s) et (P,h).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Diffusion de particules	
Vecteur densité de flux de particules \mathbf{j}_N .	Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur \mathbf{j}_N
Bilans de particules.	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir une équation traduisant un bilan local dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Loi de Fick.	Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.
Régimes stationnaires.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.
Équation de diffusion en l'absence de sources internes.	Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.
Approche microscopique du phénomène de diffusion.	Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Diffusion thermique	
Vecteur densité de flux thermique \mathbf{j}_Q	Exprimer le flux thermique à travers une surface en utilisant le vecteur \mathbf{j}_Q .
Premier principe de la thermodynamique.	Utiliser le premier principe dans le cas d'un milieu solide pour établir une équation locale dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur

	divergence et son expression fournie.
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Régimes stationnaires. Résistance thermique.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Exprimer une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser des associations de résistances thermiques.
Équation de la diffusion thermique en l'absence de sources internes.	Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Utiliser la relation de Newton $\delta Q = h(T_s - T_a)dSdt$ fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.
2.3 Rayonnement thermique	
Approche descriptive du rayonnement du corps noir : loi de Wien, loi de Stefan.	Utiliser les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan pour expliquer qualitativement l'effet de serre.

3. Mécanique

Présentation

Le programme de mécanique de PC s'inscrit dans le prolongement des rubriques « mécanique » et « statique des fluides » du programme de PCSI : il est constitué de deux sous-parties, l'une consacrée aux changements de référentiels et l'autre à la mécanique des fluides.

Objectifs généraux de formation

L'étude des changements de référentiel en mécanique doit conduire les étudiants :

- à choisir de manière autonome un référentiel d'étude éventuellement non galiléen en pesant les avantages et les inconvénients de ce choix ;
- à discuter le caractère approximativement galiléen du référentiel géocentrique ou du référentiel terrestre selon le contexte ;
- à réfléchir sur les fondements de la cinématique classique en les confrontant aux éléments de cinématique relativiste du cours de terminale S.

L'enseignement de mécanique des fluides vise à développer les compétences suivantes :

- utiliser les échelles macroscopique, mésoscopique et microscopique dans un même contexte ;
- utiliser un formalisme puissant tout en restant au contact permanent du concret à l'échelle humaine, favorisant ainsi les allers retours entre la théorie et l'expérience (confronter des observations et une ou plusieurs modélisations, etc...)
- former des nombres sans dimension pour déterminer les termes dominants et réduire la complexité des équations ;
- utiliser des modèles de complexité croissante (prise en compte ou non de la tension superficielle, de la viscosité, etc...) ;
- utiliser à bon escient des modèles d'écoulements (incompressible, irrotationnel, stationnaire).

Le bloc 1 concerne les changements de référentiel. Compte tenu de l'introduction en terminale S de notions sur la dilatation des durées, il importe dans la première sous-partie de mettre en évidence clairement les fondements de la cinématique classique qui pour être « intuitifs » n'en sont pas moins incompatibles avec la cinématique relativiste. La cinématique des changements de référentiels n'est pas étudiée pour elle-même mais en vue d'applications en dynamique du point ou des fluides. Pour l'étude du champ de pesanteur, on supposera le référentiel géocentrique galiléen, ce qui revient à omettre le terme de marées dont il sera question dans une approche documentaire. En outre, l'approche descriptive du rôle des roues dans la propulsion d'un véhicule tracté ou motorisé fait utiliser un changement de référentiel en mécanique du solide : on se limite au cas d'un véhicule en mouvement rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen, de telle sorte que les roues sont en rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique galiléen.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1 Changements de référentiel en mécanique classique	
Cas d'un référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un autre : transformation de Galilée, composition des vitesses.	Relier ces lois à la relation de Chasles et au caractère supposé absolu du temps.
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en translation par rapport à un autre : point coïncident, vitesse d'entraînement, accélération d'entraînement.	Utiliser le point coïncident pour exprimer la vitesse d'entraînement et l'accélération d'entraînement.
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe : point coïncident, vitesse d'entraînement, accélération d'entraînement, accélération de Coriolis.	Utiliser le point coïncident pour exprimer la vitesse d'entraînement et l'accélération d'entraînement. Citer et utiliser l'expression de l'accélération de Coriolis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Dynamique dans un référentiel non galiléen	
Cas d'un référentiel en translation par rapport à un référentiel galiléen : force d'inertie d'entraînement	Déterminer la force d'inertie d'entraînement. Appliquer la loi de la quantité de mouvement, la loi du moment cinétique et la loi de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.
Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen : force d'inertie d'entraînement, force	Exprimer la force d'inertie axifuge et la force d'inertie de Coriolis. Associer la force d'inertie axifuge à l'expression familière

d'inertie de Coriolis.	« force centrifuge ». Appliquer la loi de la quantité de mouvement, la loi du moment cinétique et la loi de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.
Exemples : - champ de pesanteur : définition, évolution qualitative avec la latitude, ordres de grandeur ; - équilibre d'un fluide dans un référentiel non galiléen en translation ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.	Distinguer le champ de pesanteur et le champ gravitationnel. Établir et utiliser l'expression de la force d'inertie d'entraînement volumique. Approche documentaire : associer les marées à un terme gravitationnel différentiel et comparer l'influence de la Lune et du Soleil pour analyser des documents scientifiques. Approche documentaire : utiliser l'expression de la force de Coriolis pour analyser des documents scientifiques portant sur les effets de la force de Coriolis sur les vents géostrophiques ou les courants marins.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3 Approche descriptive du fonctionnement d'un véhicule à roues.	
Mouvement rectiligne uniforme d'un véhicule à roues dans un référentiel galiléen en l'absence de glissement : a) véhicule tracté par une force extérieure F b) véhicule muni de roues motrices.	Exprimer la condition de non-glissement des roues. Appliquer la loi de la quantité de mouvement et la loi de l'énergie cinétique au véhicule. Appliquer la loi du moment cinétique aux roues dans le référentiel du véhicule. Expliquer qualitativement les rôles respectifs du moteur et des actions de contact exercées par la route selon qu'on envisage un bilan énergétique global ou un bilan de quantité de mouvement global.

La partie consacrée à la mécanique des fluides prolonge à la fois la rubrique « statique des fluides » et la rubrique « thermodynamique » de PCSI. Cet enseignement est conçu comme une initiation de telle sorte que de nombreux concepts (écoulement laminaire, écoulement turbulent, couche limite, vecteur tourbillon, nombre de Reynolds...) sont introduits de manière élémentaire. Toute extension du programme vers les cours spécialisés doit être évitée : par exemple l'approche lagrangienne, la fonction de courant, le potentiel complexe, l'étude locale du champ des vitesses, la relation de Bernoulli pour des écoulements compressibles ou instationnaires, le théorème de Reynolds et le théorème d'Euler sont hors-programme. Enfin la tension superficielle est abordée exclusivement d'un point de vue énergétique et expérimental.

L'apprentissage de la mécanique des fluides contribue à la maîtrise progressive des opérateurs d'analyse vectorielle qui sont utilisés par ailleurs en thermodynamique et en électromagnétisme. Quel que soit l'ordre dans lequel le professeur choisit de présenter ces

parties, il convient d'introduire ces opérateurs en insistant sur le contenu physique sous-jacent. Par ailleurs, la recherche de lignes de courants est traitée exclusivement à l'aide de logiciels d'intégration numérique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Description d'un fluide en mouvement	
Champ eulérien des vitesses. Lignes de champ. Tubes de champ.	Définir et utiliser l'approche eulérienne.
Écoulement stationnaire.	Savoir que le caractère stationnaire dépend du référentiel.
Dérivée particulaire de la masse volumique. Écoulement incompressible.	Établir l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique. Utiliser son expression pour caractériser un écoulement incompressible. Savoir que le caractère incompressible ne dépend pas du référentiel.
Équation locale de conservation de la masse.	Établir cette équation dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Caractérisation d'un écoulement incompressible par la divergence du champ des vitesses.	Utiliser $\text{div } \mathbf{v} = 0$ pour un écoulement incompressible.
Dérivée particulaire du vecteur-vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer $d\mathbf{v}/dt$ à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Connaître et utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme $(\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v}$. Utiliser l'expression fournie de l'accélération convective en fonction de $\text{grad} (v^2/2)$ et $\text{rot } \mathbf{v} \times \mathbf{v}$.
Vecteur tourbillon.	Illustrer sur des exemples simples la signification qualitative du vecteur tourbillon.
Écoulement irrotationnel défini par la nullité du rotationnel du champ des vitesses en tout point ; potentiel des vitesses.	Utiliser $\text{rot } \mathbf{v} = \mathbf{0}$ pour un écoulement irrotationnel et en déduire l'existence d'un potentiel des vitesses. Savoir que le caractère irrotationnel dépend du référentiel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Actions de contact dans un fluide en mouvement	
Forces de pression. Équivalent volumique.	Utiliser les relations $d\mathbf{F} = -p d\mathbf{S}$ et $d\mathbf{F} = -\text{grad} p d\tau$
Contraintes tangentielles dans un écoulement $\mathbf{v} = v_x(y) \mathbf{u}_x$ au sein d'un fluide newtonien ; viscosité.	Utiliser l'expression fournie $d\mathbf{F} = \eta \partial v_x / \partial y dS \mathbf{u}_x$
Équivalent volumique des forces de viscosité dans un écoulement incompressible.	Établir sur cet exemple l'expression $d\mathbf{F} = \eta \Delta \mathbf{v} d\tau$. Utiliser sa généralisation admise pour un écoulement incompressible quelconque.

Coefficient de tension superficielle.	Mesurer un coefficient de tension superficielle. Utiliser l'expression de l'énergie de tension superficielle pour interpréter un protocole expérimental.
Traînée d'une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds ; coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds ; notion d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent.	Évaluer un nombre de Reynolds pour choisir un modèle de traînée linéaire ou un modèle de traînée quadratique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3 Équations dynamiques locales	
Équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Terme convectif. Terme diffusif. Nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.	Utiliser cette équation. Évaluer en ordre de grandeur le rapport du terme convectif sur le terme diffusif et le relier au nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.
Notion d'écoulement parfait et de couche limite.	Exploiter l'absence de forces de viscosité et le caractère isentropique de l'évolution des particules de fluide. Utiliser la condition aux limites sur la composante normale du champ des vitesses.
Équation d'Euler.	Utiliser cette équation.
Relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.	Justifier et utiliser cette relation. Interpréter d'éventuels écarts observés en vérifiant les conditions de validité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4 Bilans macroscopiques	
Bilans de masse.	Établir un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert et fixe ou sur un système fermé et mobile. Utiliser un bilan de masse.
Bilans de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel à une entrée et une sortie.	Associer un système fermé à un système ouvert pour faire un bilan. Utiliser la loi de la quantité de mouvement et la loi de l'énergie cinétique pour exploiter un bilan. Exploiter la nullité (admise) de la puissance des forces intérieures dans un écoulement parfait et incompressible.

4. Électromagnétisme

Présentation

L'électromagnétisme a été étudié en PCSI dans un domaine restreint (induction électromagnétique et forces de Laplace) et sans le support des équations locales. Le programme de PC couvre en revanche tout le spectre des fréquences, des régimes stationnaires jusqu'aux phénomènes de propagation en passant par les régimes quasi-stationnaires et prend appui sur les équations locales (équation de conservation de la charge et équations de Maxwell). Le programme est découpé en rubriques indépendantes dont l'ordre de présentation relève de la liberté pédagogique du professeur. De nombreuses approches sont possibles, y compris en fractionnant les blocs. Les phénomènes de propagation sont étudiés essentiellement dans le cadre de la rubrique Physique des ondes

du programme : l'articulation entre les parties Électromagnétisme et Physique des ondes relève elle aussi de la liberté pédagogique.

Toute étude de distributions de courants superficiels est exclue. La modélisation superficielle d'une distribution de charges est strictement limitée à la modélisation du condensateur plan par deux plans infinis uniformément chargés : on fait remarquer la discontinuité du champ à la traversée d'une nappe de charges superficielles mais les relations de passage ne figurent pas au programme.

S'agissant des potentiels, on se limite à introduire le potentiel scalaire en électrostatique et à faire remarquer que le champ électrique ne dérive pas d'un potentiel scalaire en régime variable.

L'apprentissage de l'électromagnétisme contribue à la maîtrise progressive des opérateurs d'analyse vectorielle qui sont utilisés par ailleurs en thermodynamique et en mécanique des fluides. Quel que soit l'ordre dans lequel le professeur choisit de présenter ces parties, il convient d'introduire ces opérateurs en insistant sur le contenu physique sous-jacent.

L'étude de l'électromagnétisme n'est pas centrée sur les calculs de champs : ceux-ci se limitent donc à des calculs motivés par des applications pratiques d'intérêt évident. La recherche des lignes de champs d'un champ donné est traitée exclusivement à l'aide de logiciels d'intégration numérique.

Objectifs généraux de formation

- Découper un système en éléments infinitésimaux et sommer des grandeurs physiques (champs créés, forces subies).
- Exploiter des cartes de lignes de champ fournies.
- Exploiter des propriétés de symétries.
- Manipuler des ordres de grandeur allant du microscopique au macroscopique.
- Distinguer les champs de vecteurs à flux conservatif et les champs de vecteurs à circulation conservative.
- Manipuler des modèles (dipôles, condensateur plan, solénoïde long, etc...)

Le bloc 1 étudie les sources du champ électromagnétiques dans l'approximation des milieux continus. Par ailleurs il convient de souligner et d'exploiter les analogies formelles avec les autres théories de champ : diffusion de particules, diffusion thermique, gravitation, mécanique des fluides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Sources du champ électromagnétique	
1.1 Description microscopique et mésoscopique des sources	
Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.	Exprimer ρ et \mathbf{j} en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique. Relier l'intensité du courant et le flux de \mathbf{j} .
1.2 Conservation de la charge	
Équation locale de conservation de la charge.	Établir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation (admise) en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence, son expression étant fournie.
Conséquences en régime stationnaire.	Exploiter le caractère conservatif du vecteur \mathbf{j} en régime stationnaire. Relier ces propriétés aux lois usuelles de l'électrocinétique.

1.3 Conduction électrique dans un conducteur ohmique	
<p>Loi d'Ohm locale dans un métal fixe, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau fixe étant décrite par une force phénoménologique de la forme $-m\mathbf{v}/\tau$</p> <p>Conductivité électrique.</p> <p>Résistance d'une portion de conducteur filiforme.</p>	<p>Déduire du modèle un ordre de grandeur de τ et en déduire un critère de validité du modèle en régime variable.</p> <p>Déduire du modèle un ordre de grandeur de v et en déduire un critère pour savoir s'il convient de prendre en compte un éventuel champ magnétique.</p>
<p>Approche descriptive de l'effet Hall.</p>	<p>Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie rectangulaire.</p>
<p>Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale.</p>	<p>Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.</p>

Le bloc 2 étudie les lois de l'électrostatique et quelques applications. Les calculs de champs doivent être motivés par l'utilisation de ces champs pour étudier des situations d'intérêt pratique évident. Ces calculs ne s'appuient sur la loi de Coulomb que pour des distributions de charges discrètes. Dans le cas des distributions continues, on se limite aux situations de haute symétrie permettant de calculer le champ par le théorème de Gauss et aux superpositions de champs ainsi obtenus. Cette rubrique permet aussi d'introduire et d'exploiter des analogies avec le champ gravitationnel qui a été étudié en PCSI dans le seul cas d'astres ponctuels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Electrostatique	
2.1 Champ électrostatique	
<p>Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle : relation $\mathbf{E} = -\text{grad } V$. Principe de superposition.</p> <p>Circulation conservative du champ électrique et signification physique : énergie potentielle d'une charge q dans un champ \mathbf{E}.</p> <p>Équation locale $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{0}$.</p> <p>Propriétés de symétrie.</p> <p>Théorème de Gauss et équation locale $\text{div } \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$.</p> <p>Propriétés topographiques.</p>	<p>Citer l'ordre de grandeur du champ créé par le noyau sur l'électron dans un atome d'hydrogène.</p> <p>Associer la circulation de \mathbf{E} au travail de la force $q\mathbf{E}$.</p> <p>Utiliser le théorème de Stokes. Associer les propriétés locales $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{0}$ dans tout l'espace et $\mathbf{E} = -\text{grad } V$. Associer la relation $\mathbf{E} = -\text{grad } V$ au fait que les lignes de champ sont orthogonales aux surfaces équipotentielles et orientées dans le sens des potentiels décroissants.</p> <p>Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.</p> <p>Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss.</p> <p>Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ</p>

	<p>électrostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme de \mathbf{E} à l'évasement des tubes de champ loin des sources.</p> <p>Déduire les lignes équipotentielles d'une carte de champ électrostatique, et réciproquement.</p> <p>Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.</p>
2.2 Exemples de champs électrostatiques	
<p>Dipôle électrostatique. Moment dipolaire</p> <p>Potentiel et champ créés.</p> <p>Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment.</p> <p>Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.</p> <p>Approche descriptive des interactions ion-molécule et molécule-molécule.</p> <p>Dipôle induit. Polarisabilité.</p>	<p>Décrire les conditions de l'approximation dipolaire.</p> <p>Établir l'expression du potentiel V. Comparer la décroissance avec la distance du champ et du potentiel dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle. Tracer l'allure des lignes de champ.</p> <p>Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle E_p, de la résultante \mathbf{F} et du moment \mathbf{M}.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle dans un champ d'origine extérieure \mathbf{E}.</p> <p>Expliquer qualitativement la solvatation des ions dans un solvant polaire. Expliquer qualitativement pourquoi l'énergie d'interaction entre deux molécules polaires n'est pas en $1/r^3$.</p> <p>Exprimer la polarisabilité d'un atome en utilisant le modèle de Thomson. Associer la polarisabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.</p>
<p>Plan infini uniformément chargé en surface.</p> <p>Condensateur plan modélisé par deux plans parallèles portant des densités superficielles de charges opposées et uniformes. Capacité. Densité volumique d'énergie électrostatique.</p>	<p>Établir l'expression du champ créé.</p> <p>Établir l'expression du champ créé. Déterminer la capacité du condensateur. Citer l'ordre de grandeur du champ disruptif dans l'air.</p> <p>Associer l'énergie d'un condensateur apparue en électrocinétique à une densité volumique d'énergie.</p>
<p>Noyau atomique modélisé par une boule uniformément chargée : énergie de constitution de la distribution.</p>	<p>Exprimer l'énergie de constitution du noyau à un préfacteur numérique près par analyse dimensionnelle.</p> <p>Obtenir le préfacteur numérique en construisant le noyau par adjonction progressive de charges apportées de l'infini.</p>

	Relier les ordres de grandeur mis en jeu : rayons et énergies. Justifier la nécessité de l'interaction forte.
2.3 Analogies avec le champ gravitationnel	
Analogies formelles entre champ électrostatique et champ gravitationnel.	Mettre en évidence les analogies formelles entre les forces électrostatique et gravitationnelle pour en déduire l'analogie des propriétés des champs.

Le bloc 3 se consacre à l'étude du champ magnétique en régime stationnaire en prenant appui sur les équations locales : la loi de Biot et Savart ne figure pas au programme. L'objectif est davantage l'étude des propriétés du champ magnétique que le calcul de champs magnétiques : ceux-ci doivent donc se limiter à des situations d'intérêt pratique évident. Pour nourrir cette rubrique en applications on utilise les forces de Laplace et les forces de Lorentz étudiées en PCSI. Enfin la notion de potentiel-vecteur est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Magnétostatique	
3.1 Champ magnétostatique	
Équations locales de la magnétostatique et formes intégrales : flux conservatif et théorème d'Ampère.	Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère.
Linéarité des équations.	Utiliser une méthode de superposition.
Propriétés de symétrie.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.
Propriétés topographiques.	Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ magnétostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe/sens. Associer l'évolution de la norme de \mathbf{B} à l'évasement des tubes de champ.
3.2 Exemples de champs magnétostatiques	
Câble rectiligne « infini ». Limite du fil rectiligne infini.	Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini. Calculer et connaître le champ créé par un fil rectiligne infini. Utiliser ces modèles près d'un circuit filiforme réel.
Solénoïde long sans effets de bords.	Calculer et connaître le champ à l'intérieur, la nullité du champ extérieur étant admise.
Inductance propre. Densité volumique d'énergie magnétique.	Établir les expressions de l'inductance propre et de l'énergie d'une bobine modélisée par un solénoïde. Associer cette énergie à une densité d'énergie volumique.
3.3 Dipôles magnétostatiques	
Moment magnétique d'une boucle de courant plane.	Utiliser un modèle planétaire pour relier le moment magnétique d'un atome d'hydrogène à son moment cinétique.
Rapport gyromagnétique de l'électron. Magnéton de Bohr.	Construire en ordre de grandeur le magnéton de Bohr par analyse

<p>Ordre de grandeur de la force surfacique d'adhérence entre deux aimants permanents identiques en contact.</p>	<p>dimensionnelle. Interpréter sans calculs les sources microscopiques du champ magnétique. Évaluer l'ordre de grandeur maximal du moment magnétique volumique d'un aimant permanent.</p> <p>Obtenir l'expression de la force surfacique d'adhérence par analyse dimensionnelle.</p>
<p>Actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure : résultante et moment.</p> <p>Énergie potentielle d'un dipôle magnétique rigide placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.</p>	<p>Utiliser des expressions fournies.</p> <p>Approche documentaire de l'expérience de Stern et Gerlach : expliquer sans calculs les résultats attendus dans le cadre de la mécanique classique ; expliquer les enjeux de l'expérience.</p>

Le bloc 4 présente les équations de Maxwell en régime dépendant du temps. La notion de potentiel-vecteur est hors-programme mais on insiste sur le fait que le champ électrique ne dérive pas en général d'un potentiel scalaire. L'étude détaillée des ondes électromagnétiques qui prolonge ce bloc est placée dans la partie Physique des ondes. On ne mentionne ici les phénomènes de propagation que pour les négliger dans le cadre des régimes lentement variables. Le cadre adopté est celui de l'ARQS « magnétique » où les effets des distributions de courants dominent ceux des distributions de charges.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Équations de Maxwell	
4.1 Postulats de l'électromagnétisme	
<p>Force de Lorentz. Équations locales de Maxwell. Formes intégrales. Compatibilité avec les cas particuliers de l'électrostatique et de la magnétostatique ; compatibilité avec la conservation de la charge.</p>	<p>Utiliser les équations de Maxwell sous forme locale ou intégrale. Faire le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday étudiée en PCSI.</p>
Linéarité.	Utiliser une méthode de superposition.
4.2 Aspects énergétiques	
<p>Vecteur de Poynting. Densité volumique d'énergie électromagnétique. Équation locale de Poynting.</p>	<p>Utiliser les grandeurs énergétiques pour faire des bilans d'énergie électromagnétique. Associer le vecteur de Poynting et l'intensité utilisée en optique.</p>
4.3 Validation de l'approximation des régimes quasi-stationnaires « magnétique »	
<p>Équations de propagation des champs E et B dans le vide. Caractère non instantané des interactions électromagnétiques. Relation $\epsilon_0\mu_0c^2=1$.</p>	<p>Établir les équations de propagation. Interpréter c.</p>
ARQS « magnétique ».	Discuter la légitimité du régime quasi-stationnaire.

	Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge et utiliser les formes simplifiées. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.
--	--

5. Physique des ondes

Présentation

Le programme de physique des ondes de PC s'inscrit dans le prolongement de la partie « signaux physiques » du programme de PCSI où des propriétés unificatrices (diffraction, interférences, battements...) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de D'Alembert en électromagnétisme et en acoustique, puis d'envisager des modèles de sources d'ondes rayonnées dans l'espace. On aborde ensuite l'étude de la dispersion, de l'atténuation et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. La propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une interface. L'étude de la physique des ondes s'achève par une introduction à l'approche ondulatoire de la mécanique quantique et par une introduction à la physique du laser.

Objectifs généraux de formation

L'étude de la physique des ondes doit conduire les étudiants à développer, entre autres, les compétences suivantes :

- mettre en évidence les analogies existant entre des phénomènes relevant de domaines de la physique très différents, mais dont le comportement est régi par les mêmes équations aux dérivées partielles ;
- utiliser les ondes planes monochromatiques comme outil privilégié de résolution d'une équation d'onde linéaire, et caractériser celle-ci par une relation de dispersion ;
- choisir de manière pertinente entre des ondes stationnaires (c'est-à-dire dont les variations spatiale et temporelle sont factorisées en représentation réelle) et des ondes progressives ;
- associer les modes propres d'un système confiné à des ondes stationnaires dont les pulsations sont quantifiées ;
- utiliser l'analyse de Fourier et la superposition pour faire le lien entre une solution physique réelle spatialement et temporellement limitée, et des solutions mathématiques élémentaires non réalistes ;
- utiliser des conditions initiales et/ou des conditions aux limites connues pour déterminer la solution d'une équation d'ondes par superposition ;
- linéariser des équations à partir de la manipulation d'ordres de grandeur pertinents associés au phénomène étudié ;

- identifier les principaux types de comportements ondulatoires associés aux domaines asymptotiques d'une relation de dispersion simple (propagation sans déformation, dispersion, absorption, atténuation) ;
- identifier les limites d'une approche classique particulière au niveau microscopique et la richesse prévisionnelle d'un modèle ondulatoire : confronter les effets quantiques et les prédictions classiques en s'appuyant, entre autres, sur des estimations numériques.

Le bloc 1 est consacré à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs régis par l'équation d'onde de d'Alembert. Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires. Les solutions générales $f(x-ct)$ et $g(x+ct)$ apparaissent ici comme un cas particulier que l'on retrouve par superposition. La méthode de séparation des variables n'est donc pas exigible sur cette partie. S'agissant de la modélisation microscopique des solides, l'objectif est principalement d'établir la loi de Hooke qui sera ensuite utilisée pour mettre en équations les ondes longitudinales dans l'approximation du solide continu. Dans le cadre de la physique des ondes, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à sa dépendance spatiale $f(x,t)$ ou $f(r,t)$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert	
1.1. Ondes mécaniques unidimensionnelles dans les solides déformables	
Équation d'onde pour des ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Modèle microscopique de solide élastique unidimensionnel (chaîne d'atomes élastiquement liés) : loi de Hooke.	Relier la raideur des ressorts fictifs à l'énergie de liaison et évaluer l'ordre de grandeur du module d'Young.
Ondes acoustiques longitudinales dans une tige solide dans l'approximation des milieux continus.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Équation de d'Alembert ; célérité.	Reconnaître une équation de d'Alembert. Associer qualitativement la célérité d'ondes mécaniques, la raideur et l'inertie du milieu support.
Exemples de solutions de l'équation de d'Alembert : <ul style="list-style-type: none"> - ondes progressives harmoniques - ondes stationnaires harmoniques 	Différencier une onde stationnaire d'une onde progressive par la forme de leur représentation réelle. Utiliser qualitativement l'analyse de Fourier pour décrire une onde non harmonique.
Applications : <ul style="list-style-type: none"> - régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités - régime forcé : résonances sur la corde de Melde. 	Décrire les modes propres. En négligeant l'amortissement, associer mode propre et résonance en régime forcé.
1.2. Ondes acoustiques dans les fluides	
Mise en équations eulérienne des ondes acoustiques dans le cadre de	Classifier les ondes acoustiques par domaines fréquentiels.

l'approximation acoustique. Équation de d'Alembert pour la surpression.	Valider l'approximation acoustique en manipulant des ordres de grandeur. Écrire le système des trois équations locales utiles. Linéariser les équations et établir l'équation de propagation de la surpression dans une situation unidimensionnelle en coordonnées cartésiennes. Utiliser sa généralisation admise en faisant appel à l'opérateur laplacien.
Structure des ondes planes progressives harmoniques : caractère longitudinal, impédance acoustique.	Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques. Utiliser la notion d'impédance acoustique.
Densité volumique d'énergie acoustique, vecteur densité de courant énergétique. Intensité acoustique.	Utiliser les expressions admises du vecteur-densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde. Utiliser la notion d'intensité acoustique en décibel et citer quelques ordres de grandeur.
Ondes acoustiques sphériques harmoniques.	Utiliser une expression fournie de la surpression pour interpréter par un argument énergétique la décroissance en $1/r$ de l'amplitude.
Effet Doppler longitudinal	Décrire et mettre en œuvre un protocole de détection « synchrone » pour mesurer une vitesse par décalage Doppler
1.3. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Équations de propagation de E et B dans une région sans charge ni courant.	Établir et citer les équations de propagation.
Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Établir et décrire la structure d'une OPPH. Utiliser le principe de superposition d'OPPH.
Aspects énergétiques.	Relier la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Relier le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire, téléphonie, etc...) et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.
Polarisation des ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques : polarisation elliptique, circulaire et rectiligne.	Relier l'expression du champ électrique à l'état de polarisation d'une onde.
Analyse d'une lumière totalement polarisée. Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée.	Reconnaître une lumière non polarisée. Distinguer une lumière non polarisée d'une lumière totalement polarisée.

Le bloc 2 est consacré aux phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. L'étude est menée sur des ondes harmoniques planes en représentation complexe (bloc 2.1) puis sur des paquets d'ondes harmoniques planes (bloc 2.2). S'agissant des paquets d'ondes, on se limite au cas où l'étalement est négligeable. On s'appuie soit sur les plasmas localement neutres soit sur les milieux ohmiques. On admet que les DLHI relèvent d'un traitement analogue faisant apparaître l'indice complexe, mais aucune modélisation du comportement des DLHI ne figure au programme. On se limite dans tous les cas à des milieux non magnétiques.

2. Phénomènes de propagation linéaires	
2.1 Ondes électromagnétiques dans les plasmas et dans les métaux	
<p>Interaction entre une onde plane progressive harmonique et un plasma localement neutre sans collisions. Conductivité imaginaire pure. Interprétation énergétique.</p> <p>Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu localement neutre possédant une conductivité complexe : relation de dispersion, indice complexe. Dispersion, absorption.</p> <p>Cas particulier d'une propagation unidirectionnelle dans un plasma sans collisions : onde évanescente dans le domaine réactif ($\omega < \omega_p$) ; absence de propagation de l'énergie en moyenne temporelle.</p> <p>Cas particulier d'un conducteur ohmique de conductivité réelle : effet de peau.</p>	<p>Décrire le modèle. Construire une conductivité complexe en justifiant les approximations.</p> <p>Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance échangée en moyenne temporelle entre le champ et les porteurs de charges.</p> <p>Établir une relation de dispersion pour des ondes planes progressives harmoniques. Associer les parties réelle et imaginaire de \underline{k} aux phénomènes de dispersion et d'absorption.</p> <p>Reconnaître une onde évanescente (onde stationnaire atténuée).</p> <p>Repérer une analogie formelle avec les phénomènes de diffusion. Connaître l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50Hz.</p>
2.2 Paquets d'ondes	
Propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu non absorbant et faiblement dispersif : vitesse de phase et vitesse de groupe.	Déterminer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes.

Le bloc 3 est consacré à la réflexion et la transmission d'ondes à une interface plane sous incidence normale en acoustique et en électromagnétisme. Dans ce dernier cas, on se limite ici aussi aux milieux non magnétiques. La notion de densité de courants superficiels et les relations de passage du champ électromagnétique ne figurent pas au programme. La notion de conducteur parfait ne figure pas au programme, les conditions aux limites sur la composante normale du champ électrique et la composante tangentielle du champ magnétique doivent être fournies si nécessaire dans un problème.

3. Interfaces entre deux milieux	
Réflexion, transmission d'une onde acoustique plane progressive sous incidence normale sur une interface plane infinie entre	<p>Expliciter des conditions aux limites à une interface.</p> <p>Établir les expressions des coefficients de</p>

deux fluides : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des vitesses, des surpressions et des puissances acoustiques surfaciques moyennes.	transmission et de réflexion. Associer l'adaptation des impédances au transfert maximum de puissance.
Réflexion d'une onde plane progressive harmonique entre deux demi-espaces d'indices complexes \underline{n}_1 et \underline{n}_2 sous incidence normale : coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique. Cas d'une interface vide-plasma. Coefficients de réflexion et de transmission en puissance. Cas d'une interface vide-conducteur ohmique de conductivité réelle constante. Cas d'une interface vide-conducteur ohmique dans le domaine optique visible. Polarisation par réflexion vitreuse sous incidence oblique.	Exploiter la continuité (admise) du champ électromagnétique dans cette configuration pour obtenir l'expression du coefficient de réflexion en fonction des indices complexes. Distinguer les comportements dans le domaine de transparence et dans le domaine réactif du plasma. Établir les expressions des coefficients de réflexion et transmission du champ pour un métal réel. Passer à la limite d'une épaisseur de peau nulle. Identifier le comportement du métal dans ce domaine, avec celui d'un plasma localement neutre peu dense en-dessous de sa pulsation de plasma. Associer la forme du coefficient complexe de réflexion à l'absence de propagation d'énergie dans le métal en moyenne temporelle. Identifier l'incidence de Brewster et utiliser cette configuration pour repérer la direction absolue d'un polariseur.

Le bloc 4 est consacré à une introduction à la physique du laser. Après une approche descriptive des milieux amplificateurs de lumière (4.1), une description de l'oscillateur optique que constitue le laser est effectuée (4.2) à partir de la mise en œuvre expérimentale d'un oscillateur électronique : il s'agit ici de transférer les idées abordées sur l'exemple de l'oscillateur à pont de Wien à la modélisation de l'objet optique en identifiant les points clés de l'analogie. Le bloc 4.3 est une introduction descriptive simplifiée à l'optique des faisceaux spatialement limités, dont l'un des objectifs est de pouvoir déterminer la puissance surfacique disponible, à partir de la prévision des dimensions de la tache de section minimale dans des configurations optiques élémentaires. On se limite au mode fondamental gaussien.

4. Introduction à la physique du laser	
4.1. Milieu amplificateur de lumière	
Absorption, émission stimulée, émission spontanée. Coefficients d'Einstein. Amplificateur d'ondes lumineuses.	Distinguer les propriétés d'un photon émis par émission spontanée ou stimulée. Associer l'émission spontanée à la durée de vie d'un niveau excité. Utiliser les coefficients d'Einstein dans le seul cas d'un système à deux niveaux non dégénérés. Justifier la nécessité d'une inversion de population.
4.2. Obtention d'un oscillateur	
Mise en œuvre électronique d'un oscillateur	Identifier l'étage d'amplification.

<p>sur l'exemple de l'oscillateur à pont de Wien.</p> <p>Milieu amplificateur à l'intérieur d'un résonateur optique : le laser.</p>	<p>Exprimer la condition de bouclage sur un filtre sélectif.</p> <p>Mettre en évidence le rôle des non-linéarités.</p> <p>Exprimer la condition d'oscillation.</p> <p>Associer la puissance émise à la limitation du gain par une non-linéarité.</p>
<p>4.3. Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité</p>	
<p>Approche descriptive :</p> <p>Rôle de la diffraction dans l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.</p> <p>Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : longueur de Rayleigh L_R.</p> <p>Utilisation d'une lentille pour transformer un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement</p>	<p>Relier l'ouverture angulaire λ/a et le rayon minimal a.</p> <p>Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité en fonction de la distance axiale. Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique de rayon a et d'un faisceau conique centré sur l'orifice de sortie du laser, et de demi-ouverture angulaire λ/a.</p> <p>Exploiter la convergence angulaire du faisceau issue de l'optique géométrique, la loi du retour inverse, et le lien entre l'ouverture angulaire λ/a et le rayon minimal a pour obtenir la dimension et la position de la section minimale.</p> <p>Montrer que le rayon minimal est de l'ordre de λ.</p> <p>Utiliser un élargisseur de faisceau pour réduire l'ouverture angulaire.</p>

Les blocs précédents ont permis d'introduire les outils et concepts de base associés à la physique des ondes, particulièrement tant qu'elle est régie par des équations d'onde linéaires. S'il est un domaine où cette notion de linéarité joue un rôle central, c'est bien celui de la mécanique quantique. Le bloc 5 présente quelques unes des notions associées à une description ondulatoire de ce domaine. La démarche adoptée, volontairement limitée, est centrée sur les conséquences approfondies des notions introduites en première année que sont la dualité onde-corpuscule et l'inégalité de Heisenberg spatiale, les objectifs étant désormais quantitatifs. Il s'agit, sur des systèmes unidimensionnels et des situations physiques simplifiées d'envisager quelques conséquences qui découlent de cette description ondulatoire : l'effet tunnel et ses applications sont ainsi discutés comme aboutissement naturel des notions abordées dans ce bloc. Cette partie est ancrée dans le réel : on insistera sur le fait que les situations envisagées décrivent des systèmes physiques réels effectivement unidimensionnels ; d'autre part l'étude documentaire de la microscopie à effet tunnel montre qu'on peut accéder effectivement à la mesure d'une fonction d'onde.

Toute discussion autour de la mesure et de ses effets sur un système est exclue, de même que toute introduction au spin. L'accent est mis avant tout sur la mise en équation des situations physiques proposées à l'aide des outils de la physique des ondes, et la discussion graphique des résultats qui en découlent. Tout développement des calculs intermédiaires est donc naturellement proscrit et les expressions sur lesquelles s'appuient les discussions qualitatives doivent être fournies.

Le courant de probabilité est introduit dans un contexte restreint avec pour seul objectif d'exprimer le coefficient de transmission d'une barrière de potentiel.

5. Approche ondulatoire de la mécanique quantique	
5.1. Amplitude de probabilité	
Fonction d'onde $\psi(x,t)$ associée à une particule dans un problème unidimensionnel. Densité linéique de probabilité. Principe de superposition. Interférences.	Normaliser une fonction d'onde. Faire le lien qualitatif avec la notion d'orbitale en chimie. Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.
5.2. Équation de Schrödinger pour une particule libre	
Équation de Schrödinger. États stationnaires. Paquet d'ondes associé à une particule libre. Relation $\Delta k_x \Delta x \geq 1/2$ Courant de probabilité associé à une particule libre.	Utiliser l'équation de Schrödinger fournie. Identifier les états stationnaires aux états d'énergie fixée. Établir et utiliser la relation : $\psi(x,t) = \varphi(x) \exp(-iEt/\hbar)$ et l'associer à la relation de Planck-Einstein. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Utiliser l'équation de Schrödinger pour la partie spatiale $\varphi(x)$. En exploitant l'expression classique de l'énergie de la particule libre, associer la relation de dispersion obtenue et la relation de de Broglie. Identifier vitesse de groupe et vitesse de la particule. Faire le lien avec l'inégalité de Heisenberg spatiale. Utiliser l'expression admise $\mathbf{J} = \psi ^2 \frac{\hbar \mathbf{k}}{m}$ et l'interpréter comme produit densité*vitesse.
5.3. Équation de Schrödinger dans un potentiel $V(x)$ uniforme par morceaux	
Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel rectangulaire de profondeur infinie. Énergie de confinement quantique.	Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Faire l'analogie avec la recherche des pulsations propres d'une corde vibrante fixée en ses deux extrémités. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale. Associer le confinement d'une particule

	quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.
Quantification de l'énergie des états liés dans un puits de profondeur finie. Élargissement effectif du puits par les ondes évanescentes.	Mettre en place les éléments du modèle : forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de φ et $d\varphi/dx$. Associer la quantification de l'énergie au caractère lié de la particule. Mener une discussion graphique. Interpréter qualitativement, à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale, l'abaissement des niveaux d'énergie par rapport au puits de profondeur infinie.
5.4. Effet tunnel	
Notions sur l'effet tunnel. Coefficient de transmission associé à une particule libre incidente sur une barrière de potentiel.	Associer l'existence d'une probabilité de traverser une barrière de potentiel et l'existence de deux ondes évanescentes dans la zone classiquement interdite. Exprimer le coefficient de transmission comme un rapport de courants de probabilités. Approche documentaire de la radioactivité alpha: <ul style="list-style-type: none"> - utiliser une expression fournie du coefficient de transmission pour analyser des documents scientifiques ; - expliquer le rôle de l'effet tunnel dans la radioactivité alpha. Approche documentaire de la microscopie à effet tunnel : <ul style="list-style-type: none"> - utiliser une expression fournie du coefficient de transmission pour analyser des documents scientifiques ; - expliquer la sensibilité à la distance de cette méthode d'observation des surfaces.
Approche descriptive : Double puits symétrique. Étude des deux premiers états stationnaires : symétrique et antisymétrique. Évolution temporelle d'une superposition de ces deux états.	Exploiter les diagrammes d'énergie et faire le lien avec la chimie. Sur l'exemple de la molécule d'ammoniac, utiliser le principe de superposition pour relier la fréquence des oscillations d'une particule initialement confinée dans un des puits à la différence des énergies.

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en appendice 1 du programme de physique de PCSI. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Lames quart d'onde, lames demi-onde
- Réseau de coefficient de transmission sinusoïdal
- Interféromètre de Michelson

2. Domaine électrique

- Générateur de signaux Basse Fréquence avec fonction de commande externe de la fréquence par une tension

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique PC sont d'une part ceux qui figurent dans l'appendice 2 du programme de PCSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'étude de l'outil « gradient » abordée en PCSI en introduisant de nouveaux opérateurs : seules leurs expressions en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Toutes les autres formules utiles (expressions en coordonnées cylindriques ou sphériques, actions sur des produits, combinaisons d'opérateurs, etc.) doivent être fournies.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en PCSI en admettant la décomposition d'une fonction non périodique du temps en une somme continue de fonctions sinusoïdales. De même qu'en PCSI où le calcul des coefficients d'un développement en série de Fourier est exclu, on ne cherche pas en PC à expliciter le poids relatif et les déphasages relatifs des différentes composantes de Fourier, de telle sorte que la transformée de Fourier n'est pas exigible. On insiste en revanche sur la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f/\partial x = g(x,y)$ à y fixé en introduisant une fonction $\phi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse vectorielle	
a) gradient	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à t fixé. Exprimer les

b) divergence	composantes du gradient en coordonnées cartésiennes. Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
c) rotationnel	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
d) opérateur b.grad	Exprimer la différentielle d'un champ de vecteurs à t fixé. Exprimer les composantes de (b.grad)a en coordonnées cartésiennes.
e) laplacien d'un champ scalaire	Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
f) laplacien d'un champ de vecteurs	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes.
g) cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - i\omega t)$	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse de Fourier	
Synthèse spectrale d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial.
Synthèse spectrale d'une fonction non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Equations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites

Appendice 3 : outils transversaux

La liste ci-dessous explicite un certain nombre d'outils transversaux dont la maîtrise est indispensable au physicien. Leur apprentissage progressif et contextualisé doit amener les étudiants au bout des deux années de CPGE à en faire usage spontanément quel que soit le contexte. S'agissant de l'analyse dimensionnelle, il convient d'éviter tout dogmatisme : en particulier la présentation de la dimension d'une grandeur par le biais de son unité dans le système international est autorisée. S'agissant de la recherche d'une expression par analyse dimensionnelle il ne s'agit en aucun cas d'en faire un exercice de style : en particulier le théorème Pi de Buckingham est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse de pertinence	
Homogénéité d'une expression.	Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs mise en jeu.
Caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs mise en jeu.
Sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre.	Interpréter qualitativement et en faire un test de pertinence.
Limites d'une expression pour des valeurs nulles ou infinies des paramètres.	Tester les limites d'une expression. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Nullité d'une expression.	Repérer l'annulation d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Divergence d'une expression.	Repérer la divergence d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence. Proposer éventuellement des éléments non pris en compte dans le modèle susceptibles de brider la divergence (frottements, non linéarités, etc...).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Calcul numérique	
Calcul numérique d'une expression.	Calculer sans outil l'ordre de grandeur (puissance de dix) d'une expression simple. Afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données et une unité correcte dans le cas d'un résultat dimensionné. Commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaisons à des valeurs de référence bien choisies, etc.). En faire un test de pertinence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Outils de communication	
Tableaux de données numériques simples.	Transformer un tableau de données numériques en représentation graphique. Renseigner correctement les axes.
Exploitation d'une représentation graphique.	Repérer les comportements intéressants dans le contexte donné : monotonie, extrema, branches infinies, signes. Interpréter le caractère localement rectiligne selon qu'on travaille en échelles linéaire, semi-logarithmique ou log-log.
Schémas et figures.	Transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels. Élaborer une courte synthèse à partir de plusieurs éléments graphiques : tableaux, schémas, courbes...

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Analyse dimensionnelle	
Dimension d'une expression.	Déterminer la dimension d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Recherche d'une expression de type monôme par analyse dimensionnelle.	Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E=A^\alpha B^\beta C^\chi$ par analyse dimensionnelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Analyse d'ordre de grandeur	
Comparaison en ordre de grandeur des différents termes d'une équation différentielle ou d'une équation aux dérivées partielles.	À partir d'une mise en évidence des échelles pertinentes d'un problème, évaluer et comparer l'ordre de grandeur des différents termes d'une équation afin de la simplifier en conséquence.

Programme de chimie de la voie PC

Le programme de chimie de la classe de PC s'inscrit dans la continuité du programme de PCSI. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de PC, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de PC. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques et chimiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de chimie de la classe de PC inclut celui de la classe de PCSI option PC, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de PCSI, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de PC. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de PC. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Deux appendices listent le matériel et les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de PC. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans

le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment contribuer à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, physique et informatique.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (formation disciplinaire), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son

placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue

Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper
---	--

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...).

	Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.

	<ul style="list-style-type: none"> - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la formation lors des séances de travaux pratiques, présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de PC. Elle vient prolonger la partie « formation expérimentale » du programme de PCSI ; les capacités décrites dans le programme de PCSI doivent toutes être acquises à l'issue des deux années de préparation, elles restent donc au programme de seconde année de PC et sont remobilisées si nécessaire.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques.

chimiques. Phrases H et P. - électrique	Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume - Masse - pH - Conductance et conductivité - Tension - Intensité du courant électrique - Température - Pouvoir rotatoire - Indice de réfraction - Absorbance	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, intensité, température, indice de réfraction, absorbance, pouvoir rotatoire) en s'aidant d'une notice. Mettre en œuvre des mesures calorimétriques à pression constante. Choisir les électrodes adaptées à une mesure électrochimique. Construire un dispositif électrochimique à partir de sa représentation symbolique. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière. Les domaines d'activité qui se prêtent particulièrement à la simulation sont : les titrages en solution aqueuse, la cinétique chimique, la cristallographie, la modélisation moléculaire, l'approche orbitale. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé ;

- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur ;
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Partie 3 - Formation disciplinaire

La formation disciplinaire de deuxième année PC complète celle effectuée en PCSI à la fois en chimie sur l'architecture et la transformation de la matière et en physique sur la thermodynamique et la mécanique quantique. Cette formation aborde des domaines nouveaux que sont la thermodynamique des transformations des systèmes physico-chimiques, les aspects cinétiques des réactions électrochimiques, la modélisation quantique de la structure et de la réactivité des entités chimiques. Par ailleurs, elle complète l'apport de connaissances et le développement de compétences en stratégie de synthèse en chimie organique.

Tout au long des deux années, la formation disciplinaire en chimie s'inscrit dans une vision renouvelée de son enseignement, privilégiant la capacité de l'élève à raisonner, à prévoir et à transposer ses connaissances dans des situations nouvelles ou sur des composés proches de ceux étudiés, plutôt que sa capacité à réciter, à reproduire. Ainsi les programmes des deux années sont structurés autour des outils du raisonnement que sont les théories et les modèles de comportement macroscopique ou microscopique et non pas autour d'une présentation encyclopédique, systématique, des composés et des réactions associées (acides, bases, complexes, précipités, alcènes, alcools, ...). Il s'agit bien de changer l'image parfois véhiculée de la chimie, d'une discipline où l'apprentissage par cœur serait le moteur de la réussite, et de montrer qu'elle est une science où la dialectique entre savoirs et méthodes permet d'aborder des situations nouvelles, de construire de nouvelles connaissances.

Ainsi formés en chimie, futurs ingénieurs ou chercheurs scientifiques pourront accompagner l'innovation, moteur de la croissance de demain, que ce soit dans le cadre de la recherche et du développement mais aussi de la production au stade industriel.

L'ordre de présentation des contenus, tel que présenté ci-dessous, n'est pas nécessairement celui qui doit être adopté par le professeur ; celui-ci dispose de toute liberté pour effectuer des choix et établir sa propre progression annuelle dont le seul objectif reste de permettre l'acquisition par tous les élèves de l'ensemble des capacités exigibles. Un travail en collaboration avec le professeur de physique est vivement recommandé afin de favoriser les apprentissages sur les domaines communs étudiés dans les deux disciplines.

1. Mélanges et transformations : aspects thermodynamiques
 - 1.1 Changements d'état isobares de mélanges binaires
 - 1.2 Transformations physico-chimiques
2. Énergie chimique et énergie électrique : conversion et stockage
 - 2.1 Thermodynamique des réactions d'oxydoréduction
 - 2.2 Cinétique des réactions d'oxydoréduction
3. Atomes, molécules, complexes : modélisation quantique et réactivité
 - 3.1 Orbitales atomiques
 - 3.2 Orbitales moléculaires et réactivité
 - 3.3 Orbitales moléculaires et structure des complexes
 - 3.4 Activité catalytique des complexes ; cycles catalytiques
4. Molécules et matériaux organiques : stratégie de synthèse et applications
 - 4.1 Conversion de groupes caractéristiques
 - 4.2 Création de liaison CC
 - 4.3 Matériaux organiques polymères

1. MELANGES ET TRANSFORMATIONS : ASPECTS THERMODYNAMIQUES

Au laboratoire, comme dans l'industrie, les chimistes sont amenés à élaborer des composés à partir de matières premières ou à séparer les espèces contenues dans un mélange réactionnel ou dans des substances naturelles. Dans les deux cas, l'innovation comme l'optimisation des techniques et des procédés s'appuient notamment sur des fondements thermodynamiques. Par exemple, le raffinage du pétrole brut consiste en une succession de distillations et de transformations nécessaires à l'élimination de constituants indésirables et à l'obtention en particulier de carburants plus performants ; l'exploitation de la biomasse met aussi en œuvre des extractions et des transformations.

La thermodynamique permet en effet de prévoir si la transformation envisagée est possible ou non et de trouver d'éventuelles pistes d'amélioration du rendement. Elle permet aussi d'appréhender les propriétés physico-chimiques des mélanges et d'envisager une voie d'accès aux corps purs. Elle contribue ainsi à l'obtention de matériaux de plus en plus complexes et répondant à des cahiers des charges de plus en plus exigeants.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- l'exploitation des diagrammes isobares de mélanges binaires construits à partir des courbes d'analyse thermique ;
- l'application des deux principes de la thermodynamique à la transformation physico-chimique.

La première partie s'intéresse aux changements d'état de mélanges binaires. Les diagrammes isobares sont construits à partir des courbes d'analyse thermique. Ils sont utilisés pour interpréter les techniques de séparation liquide-liquide que sont les distillations mises en œuvre dans l'approche expérimentale et pour comprendre le comportement de mélanges de solides, en particulier des alliages. Ces diagrammes sont l'occasion également de réinvestir les notions étudiées sur les changements d'état du corps pur et de se familiariser avec la notion de degrés de liberté d'un système ; le calcul de la variance par le théorème de Gibbs est hors programme.

La deuxième partie porte sur les transformations physico-chimiques. L'étude des transferts thermiques, abordée en première année dans le cadre du cours de physique relatif à la transformation du corps pur, est ici généralisée au cas des transformations physico-chimiques. Par ailleurs, le critère d'évolution d'un système, utilisé dès la première année, est ici démontré par application du second principe de la thermodynamique.

Les notions et contenus abordés sont illustrés par des exemples choisis en particulier dans le domaine industriel dans lequel les optimisations de procédés font appel, entre autres, à des concepts thermodynamiques.

Les transformations physico-chimiques envisagées sont des transformations isobares.

Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température.

On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale : $\mu_i(T,p,composition) = \mu_i^{réf}(T,p) + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux expressions des activités a_i introduites en première année. L'établissement de cette expression est strictement hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure est uniquement étudiée dans le cadre d'une approche documentaire sur la pression osmotique.

L'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système physico-chimique permet d'aborder l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. Il n'est pas attendu de discussions sur le déplacement de l'équilibre chimique, ce qui exclut de fait tout calcul différentiel de l'affinité ($d\mathcal{A}$).

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui

pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la définition et la description d'un système physico-chimique ;
- modéliser un système réel ;
- distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- établir un bilan thermique ;
- confronter des grandeurs calculées ou tabulées à des mesures expérimentales ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif ou quantitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>1.1 Changements d'état isobares de mélanges binaires</p> <p>Diagrammes isobares d'équilibre liquide-vapeur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avec miscibilité totale à l'état liquide - avec miscibilité nulle à l'état liquide - avec miscibilité partielle à l'état liquide. <p>Diagrammes isobares d'équilibre solide-liquide :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avec miscibilité totale à l'état solide, - avec miscibilité nulle à l'état solide, avec ou sans composé défini à fusion congruente - avec miscibilité partielle à l'état solide. <p>Théorème des moments chimiques.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p>	<p>Mettre en œuvre une distillation fractionnée à la pression atmosphérique et une hydrodistillation ou une distillation hétéroazéotropique.</p> <p>Construire un diagramme isobare d'équilibre entre deux phases d'un mélange binaire à partir d'informations relatives aux courbes d'analyses thermiques.</p> <p>Décrire les caractéristiques des mélanges homoazéotropes, hétéroazéotropes, indifférents, eutectiques et des composés définis.</p> <p>Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat. Exploiter les diagrammes isobares d'équilibre entre deux phases pour, à composition en fraction molaire ou massique donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tracer l'allure de la courbe d'analyse thermique en indiquant le nombre de degrés de liberté du système sur chaque partie de la courbe ; - déterminer les températures de début et de fin de changement d'état ; - donner la composition des phases en présence à une température T fixée ainsi que les quantités de matière ou les masses dans chaque phase. <p>Interpréter une distillation simple, une distillation fractionnée, une distillation hétéroazéotropique à l'aide des diagrammes isobares d'équilibre liquide-vapeur.</p>
<p>1.2 Transformations physico-chimiques</p>	
<p>Application du premier principe</p> <p>État standard. Enthalpie standard de réaction.</p>	<p>Déterminer une enthalpie standard de réaction à température ambiante.</p> <p>Déterminer une enthalpie standard de</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Loi de Hess. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément. Enthalpie standard de dissociation de liaison.</p> <p>Effets thermiques en réacteur monobare : - transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\circ$) ; - variation de température en réacteur adiabatique monobare.</p>	<p>réaction à l'aide de données thermodynamiques ou de la loi de Hess.</p> <p>Prévoir le sens du transfert thermique entre un système en transformation chimique et le milieu extérieur à partir de données thermodynamiques.</p> <p>Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.</p>
<p>Application du deuxième principe</p> <p>Identités thermodynamiques ; potentiel chimique. Enthalpie libre.</p> <p>Expression du potentiel chimique dans des cas modèles de : - gaz parfaits ; - constituants condensés en mélange idéal ; - solutés infiniment dilués.</p> <p>Affinité chimique.</p> <p>Entropie molaire standard absolue. Entropie de réaction, enthalpie libre de réaction, grandeurs standard associées.</p> <p>Relation entre l'affinité chimique, $\Delta_r G^\circ$ et Q_r.</p> <p>L'équilibre physico-chimique. Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de Van't Hoff. Relation entre l'affinité chimique, K° et Q_r.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Optimisation d'un procédé chimique :</p>	<p>Écrire les identités thermodynamiques pour les fonctions U, H et G. Distinguer et justifier les caractères intensif ou extensif des variables utilisées.</p> <p>Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques. Déterminer une variation d'enthalpie libre, d'enthalpie et d'entropie entre deux états du système chimique.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter de l'influence de la pression sur le potentiel chimique et des applications de cette propriété au laboratoire, en industrie ou dans le vivant.</p> <p>Relier affinité chimique et création d'entropie lors d'une transformation d'un système physico-chimique. Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique dans un état donné à l'aide de l'affinité chimique.</p> <p>Justifier ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction. Déterminer une grandeur standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques ou de la loi de Hess. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque.</p> <p>Reconnaître si une variable intensive est ou non un facteur d'équilibre. Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat.</p> <p>Déterminer la composition chimique du</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<ul style="list-style-type: none"> - par modification de la valeur de K°; - par modification de la valeur du quotient réactionnel. 	<p>système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une ou plusieurs réactions chimiques.</p> <p>Identifier les paramètres d'influence et déterminer leur sens d'évolution pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p>

2. ÉNERGIE CHIMIQUE ET ENERGIE ELECTRIQUE : CONVERSION ET STOCKAGE

Enjeux économiques et sociétaux de première importance, la maîtrise des énergies et la limitation des pollutions concernent tout particulièrement le chimiste et s'appuient, entre autres, sur des techniques et des technologies faisant appel à l'électrochimie. On peut citer la mise au point de capteurs électrochimiques (analyse d'eaux ou d'effluents industriels), de traitements dépolluants (procédés d'oxydation avancée ou de réductions catalytiques), d'électrodéposition (traitements de surface améliorant la durée de vie), d'électrosynthèse (préparations ou purifications électrolytiques contrôlées), la conception ou l'amélioration des batteries (automobiles, appareils électriques portatifs, etc.), les recherches sur les biopiles (enzymatiques ou microbiennes), la lutte contre la corrosion.

Cette partie du programme vient en prolongement des acquis de première année concernant les réactions d'oxydoréduction et des acquis de deuxième année en thermodynamique des transformations physico-chimiques.

Les objectifs sont les suivants :

- compléter l'ensemble des outils de la thermodynamique de la réaction d'oxydoréduction en solution aqueuse ;
- aborder la cinétique des processus électrochimiques en solution aqueuse.

Les notions de thermodynamique sont appliquées au cas de systèmes physico-chimiques sièges de réactions d'oxydoréduction et au fonctionnement de piles électrochimiques. L'étude cinétique des réactions électrochimiques se démarque de la cinétique chimique étudiée en première année par la méthode expérimentale mise en œuvre et la modélisation des phénomènes.

L'utilisation des courbes courant-potentiel permet une description précise du fonctionnement des dispositifs électrochimiques mettant en jeu les conversions énergie chimique-énergie électrique, qu'ils soient sièges de réactions d'oxydoréduction spontanées (piles électrochimiques, piles à combustible) ou forcées (électrolyseurs, accumulateurs). L'approche, volontairement qualitative, ne requiert aucun formalisme physique ou mathématique. Les caractéristiques générales des courbes courant-potentiel sont présentées sur différents exemples afin que les étudiants soient capables de proposer l'allure qualitative de ces courbes à partir d'un ensemble de données cinétiques et thermodynamiques fournies.

Dans ce cadre, l'approche expérimentale peut aller du tracé de courbes courant-potentiel à l'exploitation de courbes fournies pour mettre en œuvre et analyser un protocole ou le fonctionnement d'un dispositif électrochimique.

Le réinvestissement de ces notions et capacités liées à la thermodynamique et la cinétique des phénomènes d'oxydoréduction permet d'appréhender les phénomènes de corrosion humide par le biais d'une approche documentaire.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la définition et la description du système physico-chimique étudié ;
- élaborer qualitativement des outils graphiques à partir d'un ensemble de données ;
- pratiquer un raisonnement par analogie pour décrire le fonctionnement d'un dispositif électrochimique ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif ou quantitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>2.1 Thermodynamique des réactions d'oxydoréduction</p> <p>Relation entre affinité chimique d'une réaction et potentiels de Nernst des couples mis en jeu.</p> <p>Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.</p> <p>Approche thermodynamique du fonctionnement d'une pile électrochimique.</p> <p>Irréversibilité et travail électrique maximum récupérable.</p>	<p>Déterminer des grandeurs standard de réaction par l'étude de piles.</p> <p>Énoncer la relation entre l'affinité chimique d'une réaction et les potentiels de Nernst des couples mis en jeu.</p> <p>Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydoréduction à partir des potentiels standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydoréduction à partir de données thermodynamiques (constantes d'équilibre, potentiels standard).</p> <p>Relier tension à vide d'une pile et enthalpie libre de réaction.</p> <p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique. Décrire et justifier le fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>
<p>2.2 Cinétique des réactions d'oxydoréduction</p> <p>Courbes courant-potentiel sur une électrode :</p> <ul style="list-style-type: none"> - systèmes rapides et systèmes lents, - surtension, - nature de l'électrode, - courant limite de diffusion, - vagues successives, - domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de tracé ou d'utilisation de courbes courant-potentiel.</p> <p>Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant.</p> <p>Reconnaître le caractère lent ou rapide d'un système à partir de courbes courant-potentiel.</p>
	<p>Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion.</p> <p>Relier qualitativement, ou quantitativement à partir des courbes courant-potentiel, l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif, au nombre d'électrons échangés et à la surface immergée de l'électrode.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Utilisation des courbes courant-potentiel.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transformations spontanées <ul style="list-style-type: none"> - notion de potentiel mixte - fonctionnement d'une pile électrochimique - Transformations forcées <ul style="list-style-type: none"> - électrolyseurs - accumulateurs 	<p>Tracer l'allure de courbes courant-potentiel à partir de données de potentiels standard, concentrations et surtensions « seuil ».</p> <p>Identifier les paramètres d'influence du domaine d'inertie électrochimique du solvant.</p> <p>Positionner un potentiel mixte sur un tracé de courbes courant-potentiel.</p> <p>Identifier piles, accumulateurs et électrolyseurs comme dispositifs mettant en jeu des conversions entre énergie chimique et énergie électrique.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'un dispositif siège d'une électrolyse et prévoir la valeur de la tension de seuil.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes dans la recharge d'un accumulateur.</p> <p>Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif électrochimique.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier la nécessité : - de purifier une solution électrolytique avant l'électrolyse, - de choisir les électrodes permettant de réaliser l'électrolyse voulue.</p> <p>Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.</p> <p>Évaluer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents relatifs à la corrosion humide, identifier et analyser les facteurs d'influence et les méthodes de protection.</p>

3. ATOMES, MOLECULES, COMPLEXES : MODELISATION QUANTIQUE ET REACTIVITE

La catalyse par les complexes des métaux de transition trouve de très nombreuses applications comme par exemple la réaction de Heck en chimie fine, la carbonylation du méthanol en chimie industrielle, les processus de respiration et de photosynthèse en chimie du vivant. Elle s'inscrit dans la démarche de la chimie verte et permet des synthèses dans des conditions douces. La compréhension de ces systèmes catalytiques nécessite l'analyse détaillée de la structure électronique des complexes par l'utilisation des orbitales atomiques et moléculaires.

Ces nouveaux modèles de description de la matière à l'échelle microscopique complètent l'étude de la classification périodique et la description des entités moléculaires abordées en première année. Par ailleurs, ils permettent d'interpréter la réactivité en chimie organique dans le cadre de l'approximation des orbitales frontalières.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- la construction de diagrammes d'orbitales moléculaires ou leur interprétation en vue de la prévision de la réactivité d'une entité chimique (molécule, ion ou radical) ;
- l'exploitation de diagrammes d'orbitales moléculaires de complexes de métaux de transition dans le but d'interpréter les propriétés des liaisons dans ce type d'édifices et l'utilisation de ces complexes comme catalyseurs ou éléments structurants.

Les approximations usuelles de la théorie des orbitales atomiques et moléculaires seront présentées afin de mettre l'accent sur les limitations des modèles adoptés. La notion de fonction d'onde sera abordée sans qu'aucune formulation mathématique ne soit exigible.

La construction des diagrammes d'orbitales moléculaires est limitée aux cas des molécules A_2 ou AB, sans mélange d'orbitales s et p. En revanche, des diagrammes d'orbitales moléculaires avec mélanges d'orbitales atomiques sur un même centre peuvent être fournis, l'étudiant devant alors les interpréter : remplissage des niveaux, identification des orbitales frontalières HO et BV, analyse du caractère liant, antiliant ou non liant d'une orbitale moléculaire. De même, la construction des diagrammes d'orbitales moléculaires de systèmes plus complexes est hors programme ; l'étudiant interprète ces diagrammes à partir des propriétés de deux fragments en interaction dont les orbitales sont fournies.

Les orbitales moléculaires des complexes à symétrie octaédrique sont interprétées de la même manière.

Dans le but de disposer de modèles simples applicables en chimie organique, l'approximation des orbitales frontalières permet de prévoir la réactivité électrophile ou nucléophile des espèces mises en jeu : ces orbitales peuvent être obtenues grâce à des logiciels ou à partir de bases de données, les unités d'énergie utilisables étant l'eV ou le $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Les complexes organométalliques (notion étendue aux complexes à ligands organiques sans présence de liaison métal-carbone) sont utilisés comme catalyseurs : aucun cycle catalytique n'est exigible, mais les étapes élémentaires d'un cycle fourni doivent être reconnues par l'étudiant, les notions de cinétique de première année pouvant être réinvesties à cette occasion. Le formalisme de Green est hors-programme.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés physico-chimiques ;
- utiliser différentes représentations schématiques ou symbolique d'une entité ;
- comparer les apports et limites des différents modèles de description des entités chimiques ;

- relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques à l'aide de différents modèles ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1 Orbitales atomiques	
<p>Fonctions d'onde de l'atome d'hydrogène.</p> <p>Énergie et rayon associés à une orbitale atomique.</p> <p>Représentation graphique conventionnelle d'une orbitale atomique.</p> <p>Orbitales des atomes polyélectroniques ; énergie associée à une orbitale, dégénérescence des niveaux d'énergie.</p> <p>Notion qualitative de charge effective.</p>	<p>Interpréter $\psi ^2$ comme la densité de probabilité de présence d'un électron en un point et le relier à la densité de charge.</p> <p>Prévoir qualitativement, pour l'atome d'hydrogène et les ions hydrogénoïdes, l'évolution du rayon et de l'énergie associés à une orbitale atomique en fonction du nombre quantique principal.</p> <p>Identifier la phase de la fonction d'onde.</p> <p>Dessiner l'allure des orbitales atomiques s, p et d.</p> <p>Établir la configuration électronique d'un atome ou d'un ion dans son état fondamental.</p> <p>Relier l'évolution du rayon associé à une orbitale atomique à la charge effective.</p> <p>Relier l'évolution de l'énergie associée à une orbitale atomique à l'électronégativité.</p> <p>Relier le rayon associé aux orbitales de valence d'un atome à sa polarisabilité.</p>
3.2 Orbitales moléculaires et réactivité	
<p>Méthode de Combinaison Linéaire des Orbitales Atomiques.</p> <p>Interaction de deux orbitales atomiques sur deux centres :</p> <ul style="list-style-type: none"> - recouvrement ; - orbitales liante, antiliante, non liante ; - énergie d'une orbitale moléculaire ; - orbitale σ, orbitale π ; - représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire par schématisation graphique de la combinaison linéaire des orbitales atomiques. 	<p>Identifier les conditions d'interaction de deux orbitales atomiques : recouvrement et critère énergétique.</p> <p>Construire des orbitales moléculaires de molécules diatomiques par interaction d'orbitales atomiques du même type (s-s, p-p).</p> <p>Reconnaître le caractère liant, antiliant, non liant d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Identifier la symétrie σ ou π d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Proposer une représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire tenant compte d'une éventuelle dissymétrie du système. Justifier la dissymétrie d'une orbitale moléculaire obtenue par interaction</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Interaction d'orbitales de fragments</p> <p>Diagramme d'orbitales moléculaires : occupation, orbitales frontalières haute occupée et basse vacante, cas des entités radicalaires.</p> <p>Ordre de liaison dans les molécules diatomiques.</p> <p>Prévision de la réactivité : approximation des orbitales frontalières.</p>	<p>d'orbitales atomiques centrées sur des atomes d'éléments différents.</p> <p>Prévoir l'ordre énergétique des orbitales moléculaires et établir qualitativement un diagramme énergétique d'orbitales d'une molécule diatomique.</p> <p>Justifier l'existence d'interactions entre orbitales de fragment en termes de recouvrement ou d'écart d'énergie.</p> <p>Décrire l'occupation des niveaux d'un diagramme d'orbitales moléculaires. Identifier les orbitales frontalières à partir d'un diagramme d'orbitales moléculaires de valence fourni.</p> <p>Interpréter un diagramme d'orbitales moléculaires obtenu par interaction des orbitales de deux fragments, fournies.</p> <p>Relier dans une molécule diatomique l'évolution de la longueur et de la constante de force de la liaison à l'évolution de l'ordre de liaison.</p> <p>Utiliser les orbitales frontalières pour prévoir la réactivité nucléophile ou électrophile d'une entité (molécule ou ion).</p> <p>Interpréter l'addition nucléophile sur le groupe carbonyle et la substitution nucléophile en termes d'interactions frontalières.</p> <p>Comparer la réactivité de deux entités à l'aide des orbitales frontalières.</p> <p>Approche numérique : utiliser un logiciel de modélisation pour l'obtention d'orbitales moléculaires en vue d'une interprétation de la réactivité.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents illustrant l'existence de bandes d'énergie dans les solides, analyser les propriétés de conduction électrique de matériaux.</p>
<p>3.3 Orbitales moléculaires et structure des complexes.</p>	
<p>Orbitales moléculaires de valence des complexes métalliques octaédriques :</p>	<p>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu la synthèse, l'analyse, la réactivité ou la caractérisation d'un complexe d'un métal de transition.</p> <p>Identifier parmi les orbitales de fragment fournies celles qui interagissent.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>interactions entre fragments pour des ligands σ-donneurs intervenant par une seule orbitale.</p> <p>Ligands π-donneurs et π-accepteurs Coordination des systèmes π non délocalisés</p>	<p>Expliquer la levée partielle de dégénérescence des orbitales d.</p> <p>Établir la configuration électronique de valence d'un complexe dont le diagramme d'orbitales est donné.</p> <p>Reconnaître un ligand ayant des effets π à partir de la donnée de ses orbitales de valence.</p> <p>Identifier les interactions orbitales possibles entre orbitales atomiques d d'un métal et le système π d'un alcène ou d'un ligand carbonyle.</p> <p>Expliquer par une approche orbitale la coordination des systèmes π sur un fragment métallique donné.</p>
3.4 Activité catalytique des complexes	
<p>Cycles catalytiques.</p> <p>Processus élémentaires : addition oxydante, insertion et processus inverses.</p>	<p>Établir l'équation de réaction à partir d'un cycle catalytique donné.</p> <p>Distinguer catalyseur et précurseur de catalyseur.</p> <p>Déterminer la variation du nombre d'oxydation d'un métal au sein d'un complexe au cours d'une étape élémentaire d'un cycle donné.</p> <p>Reconnaître les étapes élémentaires d'un mécanisme donné.</p> <p>Donner le produit d'un acte élémentaire dont les réactifs sont précisés.</p> <p>Interpréter la modification de réactivité d'un alcène par les phénomènes électroniques mis en jeu lors de sa coordination.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents impliquant des transformations en chimie bio-inorganique, analyser le rôle catalytique ou structurant des complexes métalliques.</p>

4. MOLÉCULES ET MATÉRIAUX ORGANIQUES : STRATÉGIES DE SYNTHÈSE ET APPLICATIONS

Médicaments, produits phytosanitaires, matériaux polymères de synthèse aussi différents que les latex de peinture ou les boucliers thermiques des véhicules spatiaux ... Synthèses en chimie fine ou productions de fort tonnage découlent d'une démarche d'ingénierie moléculaire s'appuyant entre autres sur les apports de la chimie organique. L'élaboration, l'identification des structures et la prévision de la réactivité des molécules obéissent à des règles fondamentales dont les principes sont abordés dans les programmes de chimie de PCSI et de PC.

Le programme de PC s'inscrit dans la continuité de celui de PCSI et poursuit les objectifs

suivants :

- s'approprier la logique de la synthèse organique grâce aux compléments de formation relatifs aux conversions de groupes caractéristiques et à la création de liaison carbone-carbone ;
- consolider et compléter les connaissances des mécanismes fondamentaux et les capacités relatives à leur écriture à l'aide du formalisme des flèches courbes et des orbitales moléculaires.

L'approche retenue privilégie donc l'aspect mécanistique et la stratégie de synthèse à une présentation monographique, mais l'enseignant dispose de sa liberté pédagogique pour construire la progression de son choix.

L'enseignement de la chimie organique s'appuie sur les connaissances et capacités acquises en thermodynamique et cinétique chimiques et exploite les modèles orbitaux de description des structures et de la réactivité, introduits dans la partie « modélisation quantique et réactivité ». D'une part, l'utilisation des orbitales frontalières permet la prévision des géométries d'approche des réactifs et, dans le cas où l'évolution du système est sous contrôle frontalier, la prévision de la structure du produit majoritaire dans la transformation. D'autre part, l'étude de quelques cycles catalytiques permet de construire ou de réinvestir les compétences relatives aux complexes de métaux de transition. Aucune étude des propriétés intrinsèques des ligands carbène impliqués dans les réactions de métathèse n'est à envisager. Lors des épreuves d'évaluation, les orbitales frontalières comme les différentes étapes des cycles catalytiques sont systématiquement fournies aux étudiants.

Le cours et les activités s'appuient sur des exemples issus aussi bien des domaines de la chimie fine, de la chimie du vivant et de la chimie industrielle et permettent une sensibilisation aux principes de la chimie verte. La richesse des applications matériaux polymères organiques est présentée, en prise avec les problématiques sociétales actuelles et à venir.

À travers les capacités et contenus exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront par la suite être réinvesties, consolidées et valorisées, parmi lesquelles :

- choisir le ou les modèle(s) pertinent(s) de description géométrique, électronique ou orbitale d'une espèce chimique pour rendre compte de sa réactivité ;
- identifier dans une entité complexe la partie utile au raisonnement ;
- utiliser des modèles de prédiction de l'évolution du système dans le cadre des transformations proposées ;
- pratiquer un raisonnement par analogie (analyse de réactivités et écriture de mécanismes) ;
- proposer une stratégie de synthèse dans le cadre d'un problème ouvert.

Notions et contenus	Capacités exigibles
	Identifier et nommer les groupes caractéristiques présents dans une entité donnée. Discuter des aspects thermodynamiques et cinétiques des transformations effectuées à l'aide de données tabulées et de résultats expérimentaux. Identifier les sites électrophiles et nucléophiles des réactifs à l'aide de leurs structures de Lewis ou de leurs orbitales frontalières. Expliciter à l'aide des orbitales frontalières la géométrie d'approche entre réactifs conduisant aux produits primaires par application du principe de recouvrement maximum.

Notions et contenus	Capacités exigibles
	<p>Conduire la synthèse et la purification d'un composé chimique à l'aide d'un protocole donné.</p> <p>Proposer ou mettre au point un protocole expérimental permettant de réaliser une synthèse organique à partir de données fournies.</p> <p>Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.</p>
<p>4.1 Conversion de groupes caractéristiques</p>	
<p>Additions sur les hydrocarbures insaturés</p> <p>De l'alcène à l'alcool. Hydratation acide : conditions opératoires, régiosélectivité, réactivité comparée des alcènes, mécanisme limite. Transposition, mécanisme schématique.</p> <p>Hydroboration d'un alcène terminal par le borane : régiosélectivité, mécanisme limite de l'addition du borane sur l'alcène ; hydrolyse oxydante.</p> <p>De l'alcène à l'alcane et de l'alcyne à l'alcène. Hydrogénation en catalyse hétérogène : aspects stéréochimiques, mécanisme.</p> <p>Hydrogénation en catalyse homogène.</p>	<p>Discuter de la régiosélectivité de la transformation à l'aide de la stabilité des ions carbénium intermédiaires.</p> <p>Expliquer la formation de certains produits par des transpositions.</p> <p>Interpréter la régiosélectivité de l'hydroboration à l'aide des effets stériques.</p> <p>Identifier les différents types d'interactions entre le catalyseur hétérogène et les réactifs. Interpréter la stéréospécificité syn de l'addition du dihydrogène à l'aide du mécanisme en catalyse hétérogène.</p> <p>Identifier les processus élémentaires intervenant lors de l'hydrogénation en catalyse homogène.</p>
<p>Additions nucléophiles suivies d'élimination</p> <p>De l'acide carboxylique aux amides et aux esters.</p> <p>Activation du groupe carboxyle : ex situ sous forme d'un chlorure d'acyle ou d'un anhydride d'acide ; in situ par protonation, par formation d'un anhydride mixte, in vivo par formation de l'acétylCoA.</p> <p>Synthèse des esters à partir des acides</p>	<p>Comparer les réactivités électrophiles des acides carboxyliques, chlorures d'acyle, anhydrides d'acide, esters, amides, les aptitudes nucléofuges des groupes partants dans les molécules correspondantes et en déduire l'importance de l'activation du groupe carboxyle.</p> <p>Proposer et/ou analyser différents moyens d'activation d'un groupe carboxyle.</p> <p>Expliquer comment obtenir un bon rendement</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides d'acide : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p> <p>Synthèse des amides à partir des acides carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides d'acide : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p> <p>Des amides ou esters à l'acide carboxylique. Hydrolyses acide et basique des esters et des amides : conditions opératoires. Mécanisme limite de la saponification.</p>	<p>de synthèse d'ester à partir d'un alcool primaire ou secondaire et d'un acide carboxylique selon la méthode d'activation choisie et les conditions expérimentales.</p> <p>Justifier le choix des conditions opératoires retenues pour la synthèse des amides.</p> <p>Utiliser la formation des esters et des amides dans le cadre d'une stratégie de synthèse nécessitant la protection d'un groupe hydroxyle ou d'un groupe amino.</p> <p>Déduire de la structure d'un polyester ou d'un polyamide la formule du ou des monomères correspondants et réciproquement.</p> <p>Justifier le choix des conditions opératoires d'hydrolyse.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents relatifs à la synthèse peptidique, analyser les stratégies de synthèse in vitro et in vivo.</p>
<p>Conversion par oxydoréduction</p> <p>Époxydation directe par un peroxyacide ; réactivité comparée des alcènes.</p> <p>Ouverture des époxydes en milieu basique : mécanisme, élaboration de diols anti.</p> <p>De l'acide ou de l'ester à l'aldéhyde ou à l'alcool primaire ; mécanisme schématique de la réduction des esters.</p>	<p>Justifier l'usage d'une base comme l'hydrogénocarbonate de sodium dans l'élaboration de l'époxyde. Discuter de la régiosélectivité de l'époxydation sur un polyène.</p> <p>Justifier la régiosélectivité et la stéréosélectivité de l'ouverture nucléophile d'un époxyde, en l'absence d'activation par un acide de Lewis ou de Bronsted.</p> <p>Interpréter la réduction d'un ester en alcool primaire en assimilant le réactif à un ion hydrure nucléophile. Identifier le produit de réduction d'un ester par un hydrure complexe, à l'aide de données fournies (chimiques et/ou spectroscopiques). Reconnaître ou proposer dans une stratégie de synthèse la conversion entre un ester et un aldéhyde ou un alcool primaire.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2 Création de liaisons CC	
<p>Réaction de Diels-Alder</p> <p>Diastéréosélectivité, stéréospécificité, régiosélectivité, influence de la structure des réactifs sur la vitesse de la transformation (règle d'Alder). Réaction de rétro-Diels-Alder.</p>	<p>Interpréter les résultats cinétiques, stéréochimiques et la régiosélectivité d'une réaction de Diels-Alder sous contrôle cinétique.</p> <p>Identifier les interactions orbitales principales et, le cas échéant, secondaires. Interpréter, le cas échéant, la préférence d'une approche de type endo.</p>
<p>Réactivité nucléophile des énolates</p> <p>Acidité d'un composé carbonyle. Généralisation aux composés analogues (esters, β-dicétones, β-cétocesters). Ordres de grandeur des pK_a des couples correspondants.</p> <p>C-alkylation en position alpha d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite, régiosélectivité de l'alkylation des énolates.</p> <p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique aqueux ou alcoolique. Aldolisation (cétolisation) croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme, intérêt synthétique. Crotonisation : déshydratation de l'aldol (cétol) en présence d'une base, mécanisme $E1_{cb}$, régiosélectivité.</p>	<p>Écrire la formule de la base conjuguée d'un composé carbonyle énolisable et justifier sa stabilité à l'aide du formalisme de la mésomérie. Proposer ou justifier le choix d'une base permettant de déprotoner un composé carbonyle ou un composé analogue.</p> <p>Justifier la réactivité nucléophile ambivalente de l'énolate dans le formalisme de la mésomérie ou par l'analyse de ses orbitales frontalières.</p> <p>Décrire les interactions entre orbitales frontalières des réactifs et interpréter la régiosélectivité de l'alkylation de l'énolate.</p> <p>Choisir dans le cadre d'une stratégie de synthèse les meilleures conditions de préparation d'un aldol (cétol) issu d'une aldolisation (cétolisation) croisée. Justifier par la compétition avec l'aldolisation l'impossibilité d'alkyler un aldéhyde. Justifier la régiosélectivité de la crotonisation en présence d'une base.</p>
<p>Réaction de Michael sur une α-énone ; mécanisme.</p>	<p>Décrire les interactions entre orbitales frontalières des réactifs et interpréter la régiosélectivité de la réaction de Michael. Identifier dans une analyse rétrosynthétique les réactifs permettant de réaliser une addition de Michael sur une α-énone.</p>
<p>Utilisation des organomagnésiens en synthèse</p> <p>Synthèse des alcools par action des organomagnésiens sur les époxydes et les esters : bilan, mécanisme schématique.</p>	<p>Proposer une synthèse magnésienne d'un alcool.</p>
<p>Création de liaisons C=C</p> <p>Réaction de Wittig</p> <p>Métathèse des alcènes</p>	<p>Identifier le dérivé carbonyle et le dérivé halogéné, précurseur de l'ylure, mis en œuvre dans la création d'une liaison C=C par une réaction de Wittig.</p> <p>Identifier des précurseurs possibles pour</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
	synthétiser un alcène par métathèse. Reconnaître réactifs, produits, catalyseur et précurseur de catalyseur dans le ou les cycles catalytiques décrivant le mécanisme d'une métathèse.
4.3 Matériaux organiques polymères	
Architecture moléculaire Macromolécules linéaires et réseaux Masses molaires moyennes en nombre et en masse d'un polymère non réticulé Indice de polymolécularité Les différents états physiques Interactions entre macromolécules. Transition vitreuse. Polymère amorphe, semi-cristallin. Propriétés mécaniques Matériaux thermoplastiques Élastomères	Repérer l'unité de répétition au sein d'une macromolécule naturelle ou artificielle. Relier l'allure de la courbe de distribution de masses molaires à l'indice de polymolécularité. Distinguer interactions faibles et réticulation chimique. Déterminer l'état physique d'un polymère à la température d'étude. Associer un diagramme de traction à un type de matériau à température fixée. Analyser une courbe d'évolution du module d'Young avec la température.

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de chimie de la classe de PCSI. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Multimètre, millivoltmètre et électrodes
- Calorimètre

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de chimie PC sont d'une part ceux qui figurent dans l'appendice 2 du programme de PCSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles seront mobilisées principalement dans le cours de chimie sur la thermodynamique de la transformation chimique ; les fondements feront l'objet d'une étude dans le cadre du chapitre « calcul différentiel » du cours de mathématique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f / \partial x = g(x,y)$ à y fixé en introduisant une fonction $\phi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».

Programme de physique - chimie de la voie PSI

Le programme de physique-chimie de la classe de PSI s'inscrit dans la continuité du programme de PCSI. La formation scientifique de la filière PSI s'appuie sur des champs disciplinaires variés : électromagnétisme, thermodynamique, conversion d'énergie électro-mécanique et électro-chimique, électronique et traitement du signal, phénomènes de transport, aéro et hydrodynamique, propagation d'ondes. Le programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de PSI, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de PSI. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de

ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique chimie de la classe de PSI inclut celui de la classe de PCSI option PSI. Toutefois, afin de faciliter l'intégration d'étudiants originaires de PTSI ou de MPSI dans la classe de PSI, la chimie organique (§ III), l'étude des mécanismes réactionnels et la cinétique chimique en réacteur ouvert (§ I.2) figurant au programme du premier semestre de PCSI sont exclues du programme de PSI : aucune connaissance et savoir-faire sur ces composantes du programme de PCSI ne peuvent être exigés des étudiants de la classe de PSI.

L'organisation du programme de physique-chimie de PSI est la même que celle de PCSI :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de PCSI, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de PSI. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de PSI. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Trois appendices listent le matériel, les outils mathématiques et les outils transversaux que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de l'année de PSI. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences industrielles pour l'ingénieur.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est

délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du

questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage. La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...

Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire

	<ul style="list-style-type: none"> - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de PSI durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de PCSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de PSI.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de la classe de PCSI en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
Mesures de temps et de fréquences Détection synchrone. Analyse spectrale.	Mesurer une fréquence par une détection synchrone élémentaire à l'aide d'un multiplieur et d'un passe-bas simple adapté à la mesure. Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
Électricité et électronique Filtrage analogique d'un signal périodique. Montages utilisant un ALI. Oscillateur.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel. Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI. Mettre en œuvre un ALI ou une porte logique pour réaliser un oscillateur.

Modulation et démodulation. Électronique numérique.	Élaborer un signal modulé en amplitude à l'aide d'un circuit multiplieur. Réaliser une démodulation synchrone. Utiliser un convertisseur analogique-numérique et un convertisseur numérique-analogique.
Conversion de puissance Puissance électrique. Conversion électromagnétique statique de puissance. Conversion électromécanique de puissance. Conversion électronique statique de puissance.	Mesurer une puissance moyenne à l'aide d'un wattmètre numérique. Mettre en œuvre un transformateur. Mettre en œuvre une machine à courant continu. Mettre en œuvre un redresseur.
Ondes Mesure d'une célérité.	Mesurer la célérité d'une onde par diverses méthodes : étude d'ondes progressives en propagation libre, étude d'ondes stationnaires.
Chimie Effectuer des bilans d'énergie. Mesures électriques. Électrochimie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie. Mettre en œuvre des mesures électriques dans un environnement électrochimique. Mettre en œuvre des piles.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigible
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique - optique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques. Utiliser les sources laser de manière adaptée.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les

	risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.
--	---

Partie 3 - Formation disciplinaire

ÉLECTRONIQUE

Présentation

Cette partie renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder les notions suivantes :

- la stabilité ;
- les oscillateurs ;
- la réalisation de filtres actifs à forte impédance d'entrée pour une association en cascade.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré ALI (également appelé amplificateur opérationnel) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées.

Par ailleurs, des exemples de manifestations des non linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- l'échantillonnage et le repliement de spectre ;
- le filtrage numérique ;
- les conversions analogique/numérique et numérique/analogique.

Enfin, la problématique de la transmission d'un signal temporel codant une information est abordée dans l'étude et la réalisation d'une modulation, en relation avec la partie du programme consacrée à la propagation des ondes électromagnétiques.

Objectifs de formation

- Passer d'une représentation temporelle à une représentation fréquentielle et réciproquement.
- Analyser la stabilité d'un système linéaire.
- Étudier des manifestations des non linéarités.
- Effectuer quelques opérations de traitement du signal en électronique analogique et numérique.

Le bloc 1 s'intéresse aux propriétés des systèmes linéaires déjà abordés en première année. Les capacités relatives au filtrage et à la décomposition harmonique d'un signal périodique sont révisées sans ajout de nouvelles compétences. Dans le but de faciliter le lien avec le cours de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur, la notation symbolique de la fonction de transfert $H(p)$ est utilisée sans faire référence à la transformée de Laplace. L'étude est complétée par une analyse de la stabilité des systèmes du premier et du second ordre en examinant le régime transitoire associé à la relation différentielle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Stabilité des systèmes linéaires	
Fonction de transfert d'un système entrée-sortie linéaire continu et invariant.	Transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (relation différentielle).
Stabilité.	Discuter la stabilité d'un système d'ordre 1 ou 2 d'après les signes des coefficients de la relation différentielle ou de la fonction de transfert.

Le bloc 2 illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'identification de certains montages à des systèmes bouclés permet de faire le lien avec le cours d'automatique de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est uniquement évoquée en TP afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Représenter les relations entre les tensions d'entrée et de sortie par un schéma fonctionnel associant un soustracteur, un passe-bas du premier ordre et un opérateur proportionnel. Analyser la stabilité du régime linéaire.
Compromis gain/bande passante d'un système bouclé du premier ordre.	Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.
Limite en fréquence du fonctionnement linéaire.	Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI dans un montage.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de probable stabilité du régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur. Exprimer les impédances d'entrée de ces montages. Expliquer l'intérêt d'une forte impédance d'entrée et d'une faible impédance de sortie pour une association en cascade.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation. Établir la relation entrée-sortie d'un comparateur simple. Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie.

	Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.
--	---

Le bloc 3 s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies. En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.
	Approche documentaire : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en termes de système bouclé auto-oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer la période d'oscillation. Réaliser un oscillateur de relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.

Le bloc 4 est exclusivement étudié de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année. Le professeur introduira les thèmes proposés au fur et à mesure des besoins et en relation avec les autres sujets d'étude.

Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement à l'aide d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction, ce dernier étant réalisé à l'aide d'une feuille de calcul traitant l'acquisition numérique d'une entrée analogique, un CNA restituant ensuite une sortie analogique. La transformée en Z est hors programme, on étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Électronique numérique	
Échantillonnage. Condition de Nyquist-Shannon. Analyse spectrale numérique.	Décrire le mouvement apparent d'un segment tournant observé avec un stroboscope. Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique. Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.
Filtrage numérique.	Réaliser un filtrage numérique passe-bas d'une acquisition, et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.
Porte logique.	Mettre en œuvre une porte logique pour réaliser un oscillateur.

Le bloc 5 est l'occasion de faire le lien entre la propagation des ondes électromagnétiques et le traitement du signal afin d'expliquer la problématique de la transmission d'une information. Cette étude sera illustrée en TP à l'aide d'un multiplieur analogique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Modulation-Démodulation	
Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps.	Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase. Citer les ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile. Approche documentaire : expliquer l'intérêt et la nécessité de la modulation pour les transmissions hertziennes.
Modulation d'amplitude. Démodulation d'amplitude.	Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante. Décrire le spectre d'un signal modulé. À partir de l'analyse fréquentielle, justifier la nécessité d'utiliser une opération non linéaire. Expliquer le principe de la détection synchrone. Réaliser une modulation d'amplitude et une démodulation synchrone avec un multiplieur analogique.

PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT

Présentation

Cette partie présente le formalisme nécessaire à l'étude générale des phénomènes de transport abordés au programme de PSI (conduction électrique, conduction thermique, diffusion de particules, fluides en écoulement). Ce formalisme, transversal à tous les domaines de la physique, repose essentiellement sur la notion de bilan, global ou local. Il permet d'exprimer des lois de conservation (charge, énergie, masse), d'établir des équations d'évolution en relation avec des propriétés phénoménologiques.

Le professeur pourra aborder les différentes notions dans l'ordre qu'il souhaite, en relation avec les autres parties du programme. Il est cependant essentiel de faire apparaître les analogies et les différences entre les domaines d'étude.

Objectifs de formation

- Utiliser les trois échelles macroscopique, microscopique, mésoscopique.
- Réaliser des bilans sous forme globale et locale.
- Mettre en évidence l'analogie entre les différentes équations locales traduisant le bilan d'une grandeur scalaire extensive.
- Distinguer une loi phénoménologique et une loi universelle.
- Manipuler des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions initiales, conditions aux limites).

En relation avec le cours d'électromagnétisme, le bloc 1 étudie le transport de charges et les milieux conducteurs en présentant un modèle microscopique. Pour sensibiliser les étudiants à l'aspect complexe de la matière, le professeur est invité à conduire une critique du modèle historique de Drude en comparant le libre parcours moyen d'un électron libre avec la distance interatomique du réseau. La conductivité électrique sera réutilisée lors de l'étude des ondes électromagnétiques dans les conducteurs (effet de peau et réflexion sur un métal).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Transport de charge	
1.1. Conservation de la charge	
Densité volumique de charge électrique ρ , vecteur densité de courant électrique \mathbf{j} .	Passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques ρ et \mathbf{j} . Décrire les différents types de porteurs de charge. Faire la distinction entre charges mobiles et charges fixes.
Intensité du courant électrique.	Écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.
Bilan de charge.	Établir l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique en coordonnées cartésiennes à une dimension. Citer l'équation locale dans le cas tridimensionnel et en interpréter chacun des termes.
Régime stationnaire.	Définir une ligne de courant et un tube de courant. En régime stationnaire, exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant

	électrique. Relier cette propriété à la loi des nœuds usuelle de l'électrocinétique.
1.2. Conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer l'ordre de grandeur de la conductivité du cuivre.
Modèle de Drude.	En régime stationnaire, établir une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.
	Approche documentaire : décrire la conductivité des semi-conducteurs, les types de porteurs, l'influence du dopage.

Le bloc 2 est consacré à la conduction thermique en relation avec le cours de thermodynamique de première année. Après avoir écrit les premier et second principes sous forme infinitésimale, on s'attache à l'étude de la diffusion thermique avec une visée applicative, concrète.

L'établissement de l'équation de diffusion thermique est limité au cas des systèmes de volume constant et les mises en équation locale sont faites exclusivement en géométries unidimensionnelles. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle, ce qui permet de traiter des problèmes tridimensionnels en fournissant les expressions de la divergence et du laplacien. Même si cette rubrique contribue à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien), le formalisme doit rester au deuxième plan.

L'étude de l'équation de diffusion thermique sans terme source, en régime stationnaire est menée par analogie avec l'électrocinétique. La notion de résistance thermique, dont la connaissance des conditions d'application est aussi importante que son utilisation, ne doit pas rester théorique. Son intérêt doit être illustré par des exemples pratiques à forte ou à faible résistance thermique.

Aucune connaissance sur les termes sources n'est exigible sauf pour l'effet Joule. On néglige le rayonnement thermique. Dans le cadre de l'interface liquide-solide, la loi phénoménologique de Newton peut être utilisée, mais ni sa mémorisation ni aucune connaissance sur son établissement ne peuvent être exigées.

Aucune méthode générale de résolution ne peut être demandée aux étudiants, mais les solutions de l'équation de diffusion en géométrie unidimensionnelle cartésienne, sans terme source, en régime stationnaire ou en régime d'ondes harmoniques doivent être connues.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Transfert thermique par conduction	
2.1. Formulation infinitésimale des principes de la thermodynamique	
Premier principe : $dU + dE_c = \delta W + \delta Q$	Énoncer et exploiter les principes de la thermodynamique pour une transformation élémentaire. Utiliser avec rigueur les notations d et δ en leur attachant une signification.
Deuxième principe : $dS = \delta S_e + \delta S_c$ avec	
$\delta S_e = \frac{\delta Q}{T_0}$ pour une évolution monotherme.	

2.2. Équation de la diffusion thermique	
Les différents modes de transfert thermique : diffusion, convection et rayonnement.	Citer les trois modes de transfert thermique. Expliquer que la diffusion est un déplacement d'énergie de proche en proche dans la matière macroscopiquement immobile.
Vecteur densité de courant thermique \vec{j}_Q .	Exprimer le flux thermique comme le flux du vecteur \vec{j}_Q à travers une surface orientée.
Équilibre thermodynamique local.	Utiliser les champs scalaires intensifs (volumiques ou massiques) associés à des grandeurs extensives de la thermodynamique.
Loi phénoménologique de Fourier.	Énoncer et utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Bilan d'énergie.	Pour un milieu évoluant à volume constant, établir l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Équation de la diffusion thermique.	Établir l'équation de diffusion vérifiée par la température, avec ou sans terme source. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Relier l'équation de diffusion à l'irréversibilité temporelle du phénomène. Exploiter la linéarité de l'équation de diffusion. Manipuler le terme source local et intégral de l'effet Joule.
Conditions aux limites.	Exploiter la continuité du flux thermique. Exploiter la continuité de la température pour un contact thermique parfait. Utiliser la relation de Newton (fournie) à l'interface solide-fluide. Traduire le contact avec une paroi calorifugée.
2.3. Régime stationnaire, ARQS	
Résistance ou conductance thermique.	Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Énoncer les conditions d'application de l'analogie. Établir l'expression de la résistance thermique d'un cylindre calorifugé latéralement. Exploiter des associations de résistances

	thermiques en série ou en parallèle.
ARQS, analogie électrocinétique avec un circuit RC.	Mettre en évidence un temps caractéristique d'évolution de la température. Justifier l'ARQS. Établir l'analogie avec un circuit électrique RC.
2.4. Ondes thermiques	
Relation de dispersion.	Établir la relation de dispersion des ondes thermiques en géométrie unidirectionnelle.
Effet de peau thermique.	Mettre en évidence le déphasage lié à la propagation. Établir une distance caractéristique d'atténuation.

Le bloc 3 est consacré à la diffusion de particules. Cette partie sera traitée par analogie avec les autres phénomènes de transport évoqués (transport de charge, conduction thermique). On pourra également utiliser la loi de Fick pour interpréter les paliers de diffusion en électrochimie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Diffusion de particules	
Les différents modes de transfert de masse : diffusion et convection.	Citer les deux modes de transfert.
Vecteur densité de courant de particules \mathbf{j}_N .	Exprimer le débit de particules comme le flux du vecteur \mathbf{j}_N à travers une surface orientée.
Loi phénoménologique de Fick.	Énoncer et utiliser la loi de Fick.
Bilan de particules.	Établir l'équation locale de bilan de particules avec ou sans terme source.
Équation de diffusion.	Établir l'équation de diffusion. Relier l'équation de diffusion à l'irréversibilité temporelle du phénomène.

Le bloc 4 étudie le transport de masse dans les fluides en écoulement. Son objectif est d'introduire les grandeurs pertinentes caractérisant un écoulement, en cohérence avec les autres phénomènes de transport. Il ne s'agit pas ici d'établir les équations d'Euler ou de Navier-Stokes, en particulier, l'expression de l'accélération comme la dérivée particulaire de la vitesse est hors programme.

La notion de viscosité est introduite sur un exemple d'écoulement de cisaillement simple. Le nombre de Reynolds est présenté comme le rapport de deux temps caractéristiques construits par analyse dimensionnelle. Il est exploité afin d'évoquer les propriétés de similitude entre des systèmes réalisés à des échelles différentes et caractérisés par les mêmes nombres sans dimension.

Les notions de statique des fluides sont principalement destinées aux étudiants ayant suivi une formation différente de PCSI.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Fluides en écoulement	
4.1. Débits et lois de conservation	
Particule de fluide.	Définir la particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.

Champ eulérien des vitesses : vitesse de la particule de fluide.	Distinguer vitesse microscopique et vitesse mésoscopique.
Masse volumique μ , vecteur densité de courant de masse $\mu \mathbf{v}$.	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.
Débit massique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur $\mu \mathbf{v}$ à travers une surface orientée.
Conservation de la masse.	Écrire les équations bilans, globale ou locale, traduisant la conservation de la masse.
Écoulement stationnaire.	Définir un écoulement stationnaire et les notions de ligne de courant et de tube de courant de masse. Exploiter la conservation du débit massique. A partir d'une carte de champ des vitesses en régime stationnaire, décrire qualitativement le champ des accélérations.
Écoulement incompressible et homogène. Débit volumique.	Définir un écoulement incompressible et homogène par un champ de masse volumique constant et uniforme. Relier cette propriété à la conservation du volume pour un système fermé. Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux de \mathbf{v} à travers une surface orientée. Justifier la conservation du débit volumique le long d'un tube de courant indéformable.
4.2 Actions de contact sur un fluide	
Pression.	Identifier la force de pression comme étant une action normale à la surface. Utiliser l'équivalent volumique des actions de pression – $\mathbf{grad} P$.
Éléments de statique des fluides.	Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans les cas d'un fluide incompressible et de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Viscosité dynamique.	Relier l'expression de la force surfacique de viscosité au profil de vitesse dans le cas d'un écoulement parallèle. Exprimer la dimension du coefficient de viscosité dynamique. Citer l'ordre de grandeur de la viscosité de l'eau. Citer la condition d'adhérence à l'interface fluide-solide.
4.3 Écoulement interne incompressible et homogène dans une conduite cylindrique	
Écoulements laminaire, turbulent.	Décrire les différents régimes d'écoulement (laminaire et turbulent).
Vitesse débitante.	Relier le débit volumique à la vitesse débitante.
Nombre de Reynolds.	Décrire qualitativement les deux modes de transfert de quantité de mouvement : convection et diffusion. Interpréter le nombre de Reynolds comme le

	<p>rapport d'un temps caractéristique de diffusion de quantité de mouvement sur un temps caractéristique de convection.</p> <p>Evaluer le nombre de Reynolds et l'utiliser pour caractériser le régime d'écoulement.</p>
<p>Chute de pression dans une conduite horizontale. Résistance hydraulique.</p>	<p>Dans le cas d'un écoulement à bas nombre de Reynolds, établir la loi de Hagen-Poiseuille et en déduire la résistance hydraulique.</p> <p>Exploiter le graphe de la chute de pression en fonction du nombre de Reynolds, pour un régime d'écoulement quelconque.</p> <p>Exploiter un paramétrage adimensionné permettant de transposer des résultats expérimentaux ou numériques sur des systèmes similaires réalisés à des échelles différentes.</p>
4.4 Ecoulement externe incompressible et homogène autour d'un obstacle	
<p>Force de traînée subie par une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme. Coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds.</p> <p>Notion de couche limite.</p> <p>Forces de traînée et de portance d'une aile d'avion à haut Reynolds.</p>	<p>Associer une gamme de nombre de Reynolds à un modèle de traînée linéaire ou un modèle quadratique.</p> <p>Pour les écoulements à grand nombre de Reynolds décrire qualitativement la notion de couche limite.</p> <p>Définir et orienter les forces de portance et de traînée.</p> <p>Exploiter les graphes de C_x et C_z en fonction de l'angle d'incidence.</p>

BILANS MACROSCOPIQUES

Présentation

Cette partie prolonge l'étude des machines thermiques réalisée en première année. Elle a pour objectif d'effectuer des bilans de grandeurs extensives thermodynamiques et mécaniques. Ces bilans sont illustrés sur des situations d'intérêt industriel (réacteur, éolienne, turbine, machines thermiques...). On proscrira les dispositifs désuets tels que le tourniquet hydraulique.

On définit également le modèle de l'écoulement parfait qui permet d'introduire la relation de Bernoulli et la notion de charge.

Si un bilan mécanique nécessite un changement de référentiel, on pourra utiliser la loi de composition des vitesses abordée dans le cours de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur.

Objectifs de formation

- Définir avec rigueur un système approprié.
- Utiliser des modèles et analyser leurs limites.
- Appliquer les lois générales de la mécanique et de la thermodynamique.
- Étudier des systèmes d'intérêt industriel.

1. Définition d'un système fermé pour les bilans macroscopiques	
Système ouvert, système fermé.	À partir d'une surface de contrôle ouverte vis-à-vis des échanges, définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive.
2. Bilans d'énergie	
Bilans thermodynamiques.	Exprimer les principes de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire en vue de l'étude d'une machine thermique sous la forme : $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_u + q$; $\Delta s = s_e + s_c$
Modèle de l'écoulement parfait : adiabatique, réversible, non visqueux.	Utiliser le modèle de l'écoulement parfait pour un écoulement à haut Reynolds en dehors de la couche limite.
Relation de Bernoulli.	Énoncer et appliquer la relation de Bernoulli à un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène.
Effet Venturi.	Décrire l'effet Venturi. Décrire les applications : tube de Pitot, débitmètre.
Pertes de charge régulière et singulière dans une conduite.	Relier qualitativement la perte de charge à une dissipation d'énergie mécanique.
Bilan macroscopique d'énergie mécanique.	Effectuer un bilan d'énergie sur une installation industrielle : pompe ou turbine. Utiliser le fait admis que la puissance des actions intérieures est nulle pour un écoulement parfait et incompressible.
3. Bilans de quantité de mouvement et de moment cinétique	
Loi de la quantité de mouvement pour un système fermé.	Faire l'inventaire des forces extérieures. Effectuer un bilan de quantité de mouvement.
Loi du moment cinétique pour un système fermé.	Effectuer un bilan de moment cinétique pour une turbine.

ÉLECTROMAGNETISME

Présentation

En première année, les champs électrique et magnétique ont été présentés *via* les effets de la force de Lorentz et une étude descriptive du champ magnétique a été effectuée pour introduire les phénomènes d'induction. Le cours de deuxième année aborde les équations locales. Les équations de Maxwell sont présentées comme des postulats de l'électromagnétisme, le but étant de rendre les étudiants rapidement opérationnels dans leur utilisation. L'étude de la conversion de puissance et celle des ondes électromagnétiques seront une exploitation.

Le programme est découpé en plusieurs rubriques indépendantes dont l'ordre de présentation relève de la liberté pédagogique du professeur. En particulier, les équations de Maxwell peuvent être formulées dès le début sous leur forme la plus générale, ou bien elles peuvent être introduites de manière progressive en commençant par une forme simplifiée en régime stationnaire.

Objectifs de formation

– Manipuler des champs scalaires et vectoriels.

- Conduire des analyses de symétrie et d'invariance.
- Calculer des champs à l'aide de propriétés de flux ou de circulation.
- Établir le lien entre des lois locales et des propriétés intégrales.
- Décrire quelques comportements phénoménologiques de la matière dans un champ électrique ou magnétique.

*

Le bloc 1 présente les relations de symétrie entre les champs E , B et les sources, sans recourir à des expressions reliant les champs aux sources, mais en s'appuyant sur des exemples de cartes de champs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Symétries des champs électrique et magnétique	
Symétries pour le champ E , caractère polaire de E .	Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges et de courants pour en déduire les propriétés de E , B .
Symétries pour le champ B , caractère axial de B .	

Le bloc 2 introduit les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday, prises comme des postulats de l'électromagnétisme. Les seuls calculs de champs électriques exigibles doivent pouvoir être faits par application du théorème de Gauss.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Champ électrique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Gauss et de Maxwell-Faraday.	Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday. Particulariser ces équations au régime stationnaire.
Potentiel scalaire électrique.	Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel de E . Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.
Propriétés topographiques.	Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme de E en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
Équation de Poisson.	Établir l'équation locale du deuxième ordre reliant le potentiel à la densité de charge.
Théorème de Gauss.	Énoncer et appliquer le théorème de Gauss.
Calculs de champ.	Établir le champ électrique et le potentiel créés par : <ul style="list-style-type: none"> – une charge ponctuelle, – une distribution de charge à symétrie sphérique. – une distribution de charge à symétrie cylindrique.
Distribution surfacique de charge.	Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge dans le cas d'une distribution volumique d'épaisseur faible devant l'échelle de description. Établir le champ électrique créé par un plan infini

	uniformément chargé en surface.
Linéarité.	Exploiter le théorème de superposition.
Énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.	Établir la relation $E_p = qV$. Appliquer la loi de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique.
Analogie entre champ électrique et champ gravitationnel.	Établir un tableau d'analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

Le bloc 3 aborde le condensateur dans la géométrie plane. Cette étude permet d'introduire l'expression de l'énergie volumique du champ électrique sur ce cas particulier, la généralité de cette expression étant admise. Aucune notion sur les conducteurs en équilibre n'est exigible. La modification de la permittivité introduite par la présence d'un isolant sera affirmée sans relation avec une description microscopique de la polarisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Condensateur	
Approche expérimentale du phénomène d'influence.	Décrire qualitativement le phénomène d'influence.
Capacité d'un condensateur plan.	Exprimer le champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. En déduire l'expression de la capacité.
Rôle des isolants.	Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.
Densité volumique d'énergie électrique.	Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique. Retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de la relation $E = \frac{1}{2}CU^2$.

Le bloc 4 introduit les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson comme des postulats de l'électromagnétisme. La conservation du flux de \mathbf{B} , qui est la traduction intégrale de l'équation de Maxwell-Thomson, est l'occasion de revenir sur les connaissances de première année, où le champ magnétique a été abordé de manière descriptive. Les seuls calculs exigibles de champs magnétiques doivent pouvoir être traités par le théorème d'Ampère, la loi de Biot et Savart et le potentiel vecteur sont hors programme. L'expression de la densité volumique d'énergie magnétique est établie sur le cas particulier d'une bobine longue, sa généralité est admise. Les distributions surfaciques de courant ne seront pas introduites à ce stade, leur usage étant strictement limité à l'étude de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Champ magnétique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson.	Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson. Particulariser l'équation de Maxwell-Ampère au régime stationnaire.
Conservation du flux magnétique.	Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.
Théorème d'Ampère.	Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère.

	Établir l'expression du champ magnétique créé par : – un fil infini ; – un fil épais et infini ; – un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul ; – une bobine torique.
Forces de Laplace.	Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme, sur une distribution volumique de courant.

Le bloc 5 étudie l'électromagnétisme en régime variable, principalement dans l'ARQS magnétique afin d'établir le lien avec le cours sur l'induction de première année. La notion de champ électromoteur est hors programme, la fem induite est calculée avec la loi de Faraday. Cette partie prépare également le cours sur la conversion de puissance en abordant les courants de Foucault et l'énergie magnétique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Electromagnétisme dans l'ARQS	
Courants de déplacement.	Vérifier que le terme de courant de déplacement permet d'assurer la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge.
ARQS magnétique.	Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.
Induction.	Relier la circulation de E à la dérivée temporelle du flux magnétique, faire qualitativement le lien avec la loi de Faraday vue en première année.
Courants de Foucault.	Dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant, décrire la géométrie des courants de Foucault, exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ propre. Expliquer l'influence du feuilletage.
Energie magnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités.
Densité volumique d'énergie magnétique.	Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique. La retrouver dans le cas de la bobine dont on néglige les effets de bord à partir de la relation $E = \frac{1}{2} Li^2$. Exploiter la continuité temporelle du flux magnétique.
Couplage partiel, couplage parfait.	Dans le cas de deux bobines couplées, établir l'inégalité $M^2 \leq L_1 L_2$.

Le bloc 6 introduit les notions d'aimantation, d'excitation magnétique, et de perméabilité magnétique. Il conduit à une réécriture de l'équation de Maxwell-Ampère, plus adaptée aux milieux magnétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Milieux ferromagnétiques	
Aimant permanent, champ magnétique créé dans son environnement. Actions subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.	À partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, décrire le champ créé par un aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique. Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ extérieur. Citer l'ordre de grandeur du champ géomagnétique en France.
Aimantation M d'un milieu magnétique.	Définir le champ d'aimantation d'un milieu magnétique.
Courants d'aimantation.	Associer à une distribution d'aimantation une densité de courants liés équivalente $j_{lié} = \text{rot } M$ (relation admise).
Relation entre B , H et M . Équation de Maxwell-Ampère écrite avec le vecteur excitation magnétique H et j_{libre} .	Définir l'excitation magnétique H et écrire l'équation de Maxwell-Ampère dans un milieu magnétique. En déduire qualitativement que les sources de H sont les courants électriques libres, et que les sources de B sont les courants électriques libres et l'aimantation.
Milieu ferromagnétique.	Représenter l'allure des cycles d'hystérésis (H, M) et (H, B) d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux, citer des exemples. Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.
Milieu ferromagnétique doux.	Modéliser un milieu doux par une relation constitutive linéaire. Définir la perméabilité relative et donner un ordre de grandeur.
Circuit magnétique avec ou sans entrefer. Électroaimant.	Décrire l'allure des lignes de champ dans un circuit magnétique sachant que les lignes de champs sortent orthogonalement à l'interface dans un entrefer. En appliquant le théorème d'Ampère et la conservation du flux magnétique, exprimer le champ magnétique produit dans l'entrefer d'un électroaimant.
Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.	Établir l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau, vérifier l'expression de l'énergie magnétique $E_{mag} = \iiint \frac{1}{2\mu_0\mu_r} B^2 d\tau$.

Pertes d'une bobine réelle à noyau.	Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de perte d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.
-------------------------------------	---

CONVERSION DE PUISSANCE

Présentation

En première année, la conversion de puissance est abordée à l'occasion du transformateur de tension et du moteur à courant continu dans la partie « induction et forces de Laplace ». Il s'agit ici d'approfondir cette étude en donnant le moyen d'aborder tous les éléments d'une chaîne énergétique faisant intervenir des éléments électriques, magnétiques et mécaniques.

Afin de pouvoir aborder des problématiques industrielles de forte puissance, le rôle essentiel du fer est considéré. Ainsi, les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules forces de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants, l'aimantation du milieu participe de manière prépondérante au calcul des actions. De même, la prise en compte de la forte perméabilité du noyau d'un transformateur est indispensable afin d'établir une relation entre les intensités indépendante de la charge. Par ailleurs, on étudie la conversion électronique de puissance permettant d'adapter les différentes sources d'énergie à leur utilisation.

Cet enseignement est une initiation dont l'objectif est d'expliquer les principes physiques mis en œuvre dans des réalisations concrètes, il ne s'agit pas de multiplier les exemples de solutions techniques. En particulier, les dispositifs en triphasé ne sont pas étudiés.

Objectifs de formation

- Réaliser des bilans d'énergie.
- Appliquer l'électromagnétisme à des problématiques industrielles.
- Élaborer des modèles, analyser des limitations et des défauts.
- Associer divers éléments (sources, convertisseurs) afin de concevoir une chaîne énergétique complète.

Le bloc 1 présente quelques résultats généraux relatifs à la puissance électrique en régime sinusoïdal. La représentation de Fresnel, abordée en première année, est utilisée pour illustrer le facteur de puissance. La notion de puissance réactive est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Puissance électrique en régime sinusoïdal	
Puissance moyenne, facteur de puissance.	Définir le facteur de puissance, faire le lien avec la représentation des tensions et des courants sur un diagramme de Fresnel. Citer et exploiter la relation $P = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$.
Puissance moyenne absorbée par une impédance.	Citer et exploiter les relations $P = \Re_e(Z) I_{eff}^2 = \Re_e(Y) U_{eff}^2$. Justifier qu'un dipôle purement réactif n'absorbe aucune puissance en moyenne.

Le bloc 2 complète le modèle du transformateur de tension vu en première année. On ajoute ici le rôle d'un noyau de fer doux de forte perméabilité permettant d'obtenir un transformateur de courant. Les pertes et les défauts sont évoqués mais ne sont pas modélisés. En particulier, l'inductance magnétisante est hors programme. On explique l'intérêt du transformateur pour l'isolement et le transport de l'énergie électrique sur de longues distances.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Transformateur	
Modèle du transformateur idéal.	Citer les hypothèses du transformateur idéal. Établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues. Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et à un stockage nul de l'énergie électromagnétique.
Pertes.	Citer les pertes cuivre, les pertes fer par courant de Foucault et par hystérésis. Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.
Applications du transformateur.	Expliquer le rôle du transformateur pour l'isolement. Établir le transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire. Expliquer l'intérêt du transport de l'énergie électrique à haute tension afin de réduire les pertes en ligne. Expliquer l'avantage d'un facteur de puissance élevé. Mettre en œuvre un transformateur et étudier son rendement sur charge résistive.

Le bloc 3 est consacré à la conversion électro-magnéto-mécanique de puissance. Afin d'étudier ces systèmes en prenant en compte le rôle du fer, on privilégie un calcul des actions électromagnétiques en dérivant l'énergie magnétique stockée dans le système par rapport à un paramètre de position. Les milieux magnétiques sont modélisés par des milieux linéaires. La notion de coénergie est hors programme.

Dans une première partie, la méthode de calcul de la force s'exerçant sur une partie mobile de fer est illustrée sur un contacteur en translation faisant partie d'un circuit magnétique dont l'entrefer est variable. À l'aide d'un bilan énergétique, le professeur pourra justifier la relation $F = (\partial E / \partial x)_i$ mais cette démonstration ne doit pas être considérée comme une capacité exigible.

On aborde ensuite le moteur synchrone en dérivant l'énergie magnétique localisée dans l'entrefer afin de déterminer le moment du couple électromagnétique. Les champs glissants statorique et rotorique sont radiaux dans l'entrefer et présentent des formes d'onde sinusoïdales. On montre que le moment moyen est non nul si les champs glissants sont synchrones. Le modèle électrique des phases de l'induit est abordé afin de décrire la conversion électromécanique de puissance, mais on n'étudiera pas l'utilisation d'une machine à vide comme compensateur synchrone.

Dans une troisième partie, on explique le fonctionnement du moteur à courant continu par analogie avec le moteur synchrone, en montrant que le collecteur réalise le synchronisme entre un champ statorique

stationnaire et un champ rotorique qui lui est orthogonal quelle que soit la position angulaire du rotor, produisant ainsi un moment maximal.

On évoque la réversibilité énergétique des machines électriques, en distinguant avec rigueur f_{em} et f_{cm} . La puissance mécanique des machines est reliée à la puissance électrique des forces électromotrices induites par des bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Conversion électro-magnéto-mécanique	
3.1. Contacteur électromagnétique en translation	
Énergie et force électromagnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'un enroulement enlaçant un circuit magnétique présentant un entrefer variable. Calculer la force électromagnétique s'exerçant sur une partie mobile en translation en appliquant l'expression fournie $F = (\partial E / \partial x)_i$.
Applications.	Sur l'exemple du relais, expliquer le fonctionnement d'un contacteur électromagnétique.
3.2. Machine synchrone	
Structure d'un moteur synchrone à pôles lisses et à excitation séparée.	Décrire la structure d'un moteur synchrone diphasé et bipolaire : rotor, stator, induit, inducteur.
Champ magnétique dans l'entrefer.	Pour une machine de perméabilité infinie à entrefer constant, exprimer le champ magnétique dans l'entrefer généré par une spire passant dans deux encoches opposées. Expliquer qualitativement comment obtenir un champ dont la dépendance angulaire est sinusoïdale dans l'entrefer en associant plusieurs spires décalées.
Champ glissant statorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant statorique lorsque les deux phases sont alimentées en quadrature.
Champ glissant rotorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant rotorique associé à la rotation de l'inducteur.
Énergie et couple.	Exprimer l'énergie magnétique totale stockée dans l'entrefer en fonction de la position angulaire du rotor. Calculer le moment électromagnétique s'exerçant sur le rotor en exploitant l'expression fournie $\Gamma = \partial E / \partial \theta$.
Condition de synchronisme.	Justifier la condition de synchronisme entre le champ statorique et le champ rotorique afin d'obtenir un moment moyen non nul. Discuter qualitativement la stabilité du système en fonction du déphasage entre les deux champs glissants. Identifier la difficulté du démarrage d'un moteur synchrone, décrire qualitativement le principe de l'autopilotage.

Modèle électrique de l'induit.	En admettant les expressions des coefficients d'inductance, établir les équations électriques vérifiées par les phases de l'induit et donner les représentations de Fresnel associées. À l'aide d'un bilan énergétique où seules les pertes cuivre sont envisagées, justifier l'égalité entre la puissance électrique absorbée par les f_{cem} et la puissance mécanique fournie.
Fonctionnement réversible.	Décrire les conditions d'utilisation de la machine synchrone en alternateur.
Applications.	Citer des exemples d'application de la machine synchrone.
3.3. Machine à courant continu	
Structure d'un moteur à courant continu à pôles lisses.	Décrire la structure d'un moteur à courant continu bipolaire à excitation séparée : rotor, stator, induit, inducteur.
Collecteur.	Par analogie avec le moteur synchrone, expliquer que le collecteur établit le synchronisme entre le champ statorique stationnaire et le champ rotorique quelle que soit la position angulaire du rotor.
Couple et f_{cem} .	Citer l'expression du moment du couple $\Gamma = \Phi i$, établir l'expression de la f_{cem} induite $e = \Phi \Omega$ par un argument de conservation énergétique. Décrire qualitativement les pertes existant dans une machine réelle : pertes cuivre, pertes fer, pertes mécaniques. Établir les équations électrique et mécanique. Tracer la caractéristique (Ω, Γ) à tension d'induit constante. Analyser le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment $-f \cdot \Omega$. Mettre en œuvre un moteur à courant continu.
Fonctionnement réversible.	Décrire les conditions d'utilisation de la machine à courant continu en génératrice. Choisir des conventions d'orientation adaptées.
Applications.	Citer des exemples d'application de la machine à courant continu.

Le bloc 4 aborde la conversion électronique statique de puissance principalement sur l'exemple du hacheur série. Il ne s'agit pas de traiter un cours exhaustif sur les convertisseurs en multipliant les exemples de circuits, l'état d'esprit de cet enseignement doit permettre de réinvestir les capacités pour étudier modestement d'autres montages (redresseur, onduleur). On ne décrira pas le circuit de commande d'un transistor.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Conversion électronique statique	
Formes continue et alternative de la puissance électrique.	Citer des exemples illustrant la nécessité d'une conversion de puissance électrique.

Structure d'un convertisseur.	Décrire l'architecture générale d'un convertisseur électronique de puissance : générateur, récepteur, processeur de puissance utilisant des interrupteurs électroniques, commande des fonctions de commutation.
Fonction de commutation spontanée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension de la diode.
Fonction de commutation commandée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension du transistor.
Sources.	Définir les notions de sources de courant et de tension. Expliquer le rôle des condensateurs et des bobines comme éléments de stockage d'énergie assurant le lissage de la tension ou de l'intensité à haute fréquence.
Réversibilité.	Caractériser les sources par leur réversibilité en tension, en intensité, en puissance. Citer des exemples.
Interconnexion.	Citer les règles d'interconnexions entre les sources.
Cellule de commutation élémentaire.	Expliquer le fonctionnement d'une cellule élémentaire à deux interrupteurs assurant le transfert d'énergie entre une source de courant et une source de tension.
Hacheur.	Tracer des chronogrammes, exploiter le fait que la moyenne d'une dérivée est nulle en régime périodique établi, calculer des moyennes de fonctions affines par morceaux, utiliser un bilan de puissance moyenne pour établir des relations entre les tensions et les intensités. Justifier le choix des fonctions de commutation pour un hacheur série assurant l'alimentation d'un moteur à courant continu à partir d'un générateur idéal de tension continue. Exprimer les valeurs moyennes des signaux. Calculer l'ondulation en intensité dans l'approximation d'un hachage haute fréquence réalisant une intensité affine par morceaux.
Redressement double alternance réalisé avec un pont de diodes.	Pour un générateur de tension sinusoïdal et une charge assimilable à une source continue de courant, décrire les différentes séquences de commutation des diodes. Mettre en œuvre un redressement double alternance.
Onduleur.	Décrire la structure en pont à quatre interrupteurs et les séquences de commutation pour une fréquence de commutation fixe.

PHYSIQUE DES ONDES

Présentation

Le programme de physique des ondes s'inscrit dans le prolongement de la partie « signaux physiques » du programme de PCSI, où des propriétés unificatrices (diffraction, interférences, battements...) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de d'Alembert, à une ou trois dimensions, sur des systèmes mécaniques ou électromagnétiques. On aborde ensuite l'étude de la dispersion et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. Enfin, la propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une interface.

Objectifs de formation

- Décrire l'évolution d'un système mécanique déformable en appliquant le principe fondamental de la dynamique de manière locale, en utilisant des champs comme en électromagnétisme.
- Utiliser les équations de Maxwell en dehors de l'ARQS.
- Manipuler des équations couplant des champs scalaires et vectoriels afin d'établir une équation de propagation.
- Résoudre une équation de propagation en exploitant des familles de solutions particulières.
- Exploiter la linéarité, utiliser la décomposition harmonique, réinvestir les connaissances sur l'analyse spectrale.
- Dégager des analogies entre des systèmes mécaniques et électromagnétiques.

Le bloc 1 est consacré à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs. L'équation de d'Alembert unidimensionnelle est d'abord établie en étudiant une partie infinitésimale de corde ou de câble coaxial. On se contente de vérifier que les superpositions de fonctions du type $f(x-ct)$ et $g(x+ct)$ sont solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension.

Dans un deuxième temps, on étudie les ondes sonores puis les ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace physique de dimension trois.

L'équation de propagation des ondes sonores est établie dans le cadre de l'approximation acoustique avec une approche locale. Le principe fondamental de la dynamique est appliqué en justifiant que l'accélération de la particule de fluide s'écrit $\vec{a} = \partial \vec{v} / \partial t$ lorsque l'amplitude des oscillations est faible devant la longueur d'onde. L'occasion se présente ainsi d'utiliser les opérateurs de dérivation dans un autre domaine que celui de l'électromagnétisme.

Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution de l'équation de d'Alembert, pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert	
1.1. Propagation unidimensionnelle	
Ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.	Établir l'équation d'onde en utilisant des systèmes infinitésimaux. Définir une onde longitudinale et une onde transversale.
Équation de d'Alembert.	Identifier une équation de d'Alembert. Exprimer la célérité en fonction des paramètres du milieu.

<p>Exemples de solutions de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle.</p> <p>Ondes progressives harmoniques.</p> <p>Ondes stationnaires harmoniques.</p>	<p>Définir une onde progressive et une onde stationnaire.</p> <p>Établir la relation de dispersion à partir de l'équation de d'Alembert. Utiliser la notation complexe.</p> <p>Définir le vecteur d'onde, la vitesse de phase.</p> <p>Retrouver la distance égale à $\lambda/2$ entre deux nœuds consécutifs ou entre deux ventres consécutifs.</p> <p>Décomposer une onde stationnaire en ondes progressives, une onde progressive en ondes stationnaires.</p>
<p>Conditions aux limites.</p> <p>Régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités.</p> <p>Régime forcé : résonances de la corde de Melde.</p>	<p>Justifier et exploiter des conditions aux limites.</p> <p>Définir et décrire les modes propres. Construire une solution quelconque par superposition de modes propres.</p> <p>Associer mode propre et résonance en régime forcé.</p>
<p>Ondes de tension et de courant dans un câble coaxial sans pertes modélisé comme un milieu continu caractérisé par une inductance linéique et une capacité linéique.</p> <p>Impédance caractéristique.</p> <p>Réflexion en amplitude sur une impédance terminale.</p>	<p>Décrire le modèle. Établir les équations de propagation.</p> <p>Établir l'expression de l'impédance caractéristique d'un câble coaxial.</p> <p>Étudier la réflexion en amplitude de tension pour une impédance terminale nulle, infinie ou résistive.</p>
<p>1.2. Ondes sonores dans les fluides</p>	
<p>Approximation acoustique.</p>	<p>Classer les ondes sonores par domaines fréquentiels.</p> <p>Justifier les hypothèses de l'approximation acoustique par des ordres de grandeur. En comparant l'amplitude du déplacement à la longueur d'onde, montrer que l'accélération de la particule de fluide s'écrit $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ lorsque $v \ll c$.</p> <p>Écrire les trois équations locales linéarisées.</p>
<p>Équation de d'Alembert pour la surpression.</p>	<p>Déterminer l'équation de propagation de la surpression dans une situation unidirectionnelle en coordonnées cartésiennes.</p> <p>Utiliser sa généralisation admise à trois dimensions avec l'opérateur laplacien.</p>
<p>Célérité.</p>	<p>Exprimer la célérité en fonction de la température pour un gaz parfait.</p>

	Citer les ordres de grandeur de la célérité pour l'air et pour l'eau.
Densité volumique d'énergie sonore, vecteur densité de courant énergétique.	Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde.
Intensité acoustique, niveau sonore.	Définir l'intensité acoustique en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et le niveau sonore en décibels. Citer quelques ordres de grandeur (minimum d'audition, seuil de douleur, conversation).
Ondes planes progressives harmoniques.	En relation avec la diffraction, discuter la validité du modèle de l'onde plane en comparant la dimension latérale à la longueur d'onde. Décrire le caractère longitudinal de l'onde sonore.
Impédance acoustique définie comme le rapport de la surpression sur le débit volumique ou comme le rapport de la surpression sur la vitesse.	Établir et utiliser l'impédance acoustique. Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.
Onde sonore sphérique.	Commenter l'expression de la surpression $p(r,t) \propto \frac{1}{r} \cos(\omega(t - \frac{r}{c}))$ générée par une sphère pulsante.
Effet Doppler.	Mettre en œuvre une détection hétérodyne pour mesurer une vitesse par décalage Doppler.
1.3. Bilan de Poynting de l'énergie électromagnétique dans un milieu quelconque	
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting. Équation locale de Poynting.	Identifier les différents termes de l'équation locale de Poynting. Interpréter le vecteur de Poynting comme le vecteur densité de flux de puissance électromagnétique.
1.4. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Propagation de \mathbf{E} et \mathbf{B} dans une région sans charge ni courant.	Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Établir les équations de propagation.
Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Utiliser la notation complexe. Représenter le trièdre $(\mathbf{u}, \mathbf{E}, \mathbf{B})$. Établir la relation entre les amplitudes des champs. Associer la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Associer le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire, téléphonie...) et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.

	Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques.
Polarisation rectiligne.	Identifier l'expression d'une onde électromagnétique plane progressive polarisée rectilignement.

Le bloc 2 est consacré aux phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. L'étude est menée sur des ondes harmoniques unidimensionnelles lorsque l'équation de propagation est linéaire mais n'est pas une équation de d'Alembert. On évoque ensuite la théorie de Fourier pour justifier qu'une onde quelconque limitée dans le temps est la superposition d'ondes harmoniques : on définit ainsi la notion de paquet d'onde. Pour finir, on applique les notions nouvellement introduites sur la dispersion à la propagation des ondes dans les milieux conducteurs et les plasmas.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Phénomènes de propagation linéaires : absorption et dispersion	
2.1. Relation de dispersion	
Forme générique des solutions progressives sinusoïdales : $y = y_0 e^{j(\omega t - \underline{k} \cdot x)}$	Identifier le caractère linéaire d'une équation aux dérivées partielles de propagation. Établir la relation de dispersion. Lier la partie réelle de \underline{k} à la vitesse de phase, la partie imaginaire de \underline{k} à une dépendance spatiale de l'amplitude. Définir la notion de milieu dispersif.
2.2. Paquet d'ondes	
Superposition de deux ondes de fréquences proches dans un milieu non absorbant et dispersif. Domaine spectral d'un paquet d'onde de durée finie.	Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. Énoncer et exploiter la relation entre les ordres de grandeur de la durée temporelle d'un paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre.
2.3. Ondes électromagnétiques planes dans des milieux conducteurs	
Cas d'un conducteur ohmique de conductivité réelle : effet de peau. Modèle du conducteur parfait en présence d'un champ électromagnétique variable.	Repérer une analogie formelle avec les phénomènes de diffusion. Établir la relation de dispersion. Associer l'atténuation de l'onde à une dissipation d'énergie. Citer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50 Hz. Justifier que les champs électrique et magnétique sont nuls dans le conducteur.
Interaction entre une onde plane progressive harmonique et un plasma localement neutre peu dense. Conductivité imaginaire pure. Interprétation énergétique. Équation de propagation dans le plasma. Onde	Décrire le modèle de la conduction électrique dans un plasma. Construire une conductivité complexe en justifiant les approximations. Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance échangée entre le champ et les porteurs. Établir la relation de dispersion dans le plasma.

plane progressive harmonique dans le plasma. Onde évanescence dans le domaine réactif ; absence de propagation de l'énergie.	Identifier une onde évanescence (onde stationnaire spatialement amortie). Expliquer la notion de fréquence de coupure et donner son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère.
--	---

Le bloc 3 est consacré à la réflexion et la transmission d'ondes à une interface plane sous incidence normale en acoustique et en électromagnétisme. Les relations de passages pour le champ électromagnétique sont affirmées, toute démonstration est hors programme. Tout calcul de courant à partir du vecteur densité de courant surfacique est à proscrire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Interfaces entre deux milieux	
3.1. Cas des ondes sonores	
Réflexion, transmission d'une onde sonore plane progressive sous incidence normale sur une interface plane infinie entre deux fluides : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des vitesses, des surpressions et des puissances sonores.	Expliciter des conditions aux limites à une interface. Établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion en amplitude de surpression, en amplitude de vitesse ou en puissance. Relier l'adaptation des impédances au transfert maximum de puissance.
Applications.	Approche documentaire : décrire la mise en œuvre des ondes ultra-sonores pour l'échographie médicale.
3.2. Cas des ondes électromagnétiques	
Relations de passage du champ électromagnétique en présence d'une distribution surfacique de charge ou de courant.	Interpréter le vecteur densité de courant surfacique comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description. Utiliser les relations de passage fournies.
Réflexion d'une onde électromagnétique polarisée rectilignement sur un conducteur parfait, en incidence normale.	Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ électrique pour justifier l'existence d'une onde réfléchi et calculer celle-ci. Calculer le champ magnétique dans le vide, en déduire le courant surfacique sur le conducteur. Calculer le coefficient de réflexion en puissance.

THERMODYNAMIQUE DES TRANSFORMATIONS PHYSICO-CHIMIQUES

Présentation

La transformation de la matière a été abordée dès le début de la première année; les changements d'état du corps pur ont été évoqués et le critère d'évolution d'un système chimique en transformation a

été présenté sans être démontré. Ce dernier a été utilisé au travers de l'étude de l'évolution des systèmes chimiques, étude restreinte au cas où une seule réaction modélise la transformation.

Le but de cette partie est double : d'une part, aborder les transferts thermiques d'un système engagé dans une transformation physico-chimique, et d'autre part, établir et utiliser le critère d'évolution spontanée d'un système chimique, ce qui nécessite l'introduction de la fonction G et du potentiel chimique.

La thermodynamique propose des outils performants permettant de décrire l'évolution macroscopique des systèmes. Ainsi l'introduction du potentiel chimique permet-elle de faire jouer à la quantité de matière un rôle comparable aux variables température et pression, déjà manipulées par les étudiants au cours de la première année. Le changement d'état physique d'un constituant chimique peut être traité avec le même formalisme que la transformation chimique.

On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale $\mu_i(T, composition) = \mu_i^\circ(T) + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux expressions des activités vues en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une solution aqueuse très diluée, ou d'un mélange idéal de gaz parfaits. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure est abordée uniquement en approche documentaire sur le thème de la pression osmotique.

Cet approche permet de compléter les acquis de première année sur les changements de phase d'un corps pur.

Les grandeurs standard de réaction sont introduites. On se place systématiquement dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. D'une part, le calcul de ces grandeurs à 298 K à partir de tables de données thermodynamiques rend possible, pour un système engagé dans une transformation physico-chimique, une estimation du transfert thermique qui peut être confrontée à l'expérience. D'autre part, les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la valeur de la constante thermodynamique K° caractéristique d'une réaction, valeur qui était simplement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition du système physico-chimique en fin d'évolution.

Pour un système en équilibre, le calcul de la variance permet, *via* l'identification méthodique des variables intensives de description, une caractérisation de l'état intensif de celui-ci par la détermination de son « nombre de degrés de liberté ». L'utilisation du théorème de Gibbs ne relève pas du programme.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée. Le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé d'après le signe de $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système initialement à l'équilibre chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. L'étude de tout ou partie d'une unité de synthèse industrielle est conduite à l'aide d'une approche documentaire.

Objectifs généraux de formation

- Faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique.
- Distinguer modélisation d'une transformation chimique (réaction chimique et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation.
- Utiliser des tables de données thermodynamiques.
- Confronter des grandeurs calculées avec des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Application du premier principe à la transformation physico-chimique	
<p>État standard. Capacité thermique standard à pression constante. Enthalpie standard de réaction. Enthalpie standard de changement d'état. État standard de référence d'un élément, enthalpie standard de formation. Loi de Hess.</p> <p>Enthalpie standard de dissociation de liaison.</p>	<p>Déterminer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess.</p> <p>Estimer l'ordre de grandeur d'une enthalpie standard de réaction à partir des énergies de liaison.</p>
<p>Effets thermiques pour une transformation isobare :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\ominus$) ; - transfert thermique causé par un changement d'état physique isobare isotherme ; - transformation exothermique ou endothermique. 	<p>Déterminer le transfert thermique entre le système en transformation physico-chimique et le milieu extérieur.</p> <p>Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale mettant en jeu des effets thermiques lors d'une transformation chimique.</p>
2. Potentiel thermodynamique	
Enthalpie libre d'un système.	<p>Justifier que l'enthalpie libre G est le potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées.</p> <p>Exprimer l'entropie créée en fonction de la variation d'enthalpie libre.</p>
3. Identités thermodynamiques pour un système monophasé de composition variable	
Identités thermodynamiques. Potentiel chimique.	Citer les expressions des différentielles de U , H , G . Distinguer les caractères intensif ou extensif des variables utilisées.
4. Changement d'état du corps pur	
<p>Potentiel chimique du corps pur.</p> <p>Conditions d'équilibre d'un corps pur sous plusieurs phases.</p> <p>Variance.</p> <p>Évolution d'un système sous plusieurs phases.</p>	<p>Identifier le potentiel chimique d'un corps pur à son enthalpie libre molaire.</p> <p>Établir l'égalité des potentiels chimiques pour un corps pur en équilibre sous plusieurs phases. En déduire l'existence d'une courbe d'équilibre sur un diagramme (P,T).</p> <p>Définir et déterminer la variance d'un système polyphasé en équilibre.</p> <p>Prévoir le sens de l'évolution d'un corps pur diphasé hors d'équilibre.</p>
5. Mélanges	
Potentiel chimique d'un constituant dans un mélange ; enthalpie libre d'un système chimique.	<p>Citer l'expression (admise) du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité.</p> <p>Exprimer l'enthalpie libre d'un système en fonction des potentiels chimiques.</p>

	Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter de l'influence de la pression sur le potentiel chimique et d'applications au laboratoire, dans l'industrie, ou dans la vie courante.
6. Changement d'état des alliages métalliques	
<p>▬ Diagrammes isobares d'équilibre solide-liquide :</p> <ul style="list-style-type: none"> – avec miscibilité totale des solides ; – avec miscibilité nulle des solides, avec ou sans composé défini à fusion congruente. <p>Théorème des moments chimiques.</p>	<p>Exploiter les diagrammes isobares d'équilibre entre deux phases pour, à composition en fraction massique donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> – décrire le comportement d'un mélange binaire lors d'une variation de température en traçant l'allure de la courbe d'analyse thermique- – déterminer les températures de début et de fin de changement d'état ; – donner la composition des phases en présence à une température fixée ainsi que les masses dans chaque phase ; – identifier les compositions relatives aux mélanges indifférents, eutectiques et aux composés définis et leur intérêt dans l'utilisation des alliages métalliques.
7. Application du second principe à une transformation chimique	
<p>Enthalpie libre de réaction. Enthalpie libre standard de réaction.</p> <p>Relation entre $\Delta_r G$, $\Delta_r G^\circ$ et Q_r ; évolution d'un système chimique.</p> <p>Entropie standard de réaction $\Delta_r S^\circ$.</p>	<p>Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à P et T fixées.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution à P et T fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction.</p> <p>Déterminer les grandeurs standard de réaction à partir des tables de données thermodynamiques.</p> <p>Déterminer les grandeurs standard de réaction d'une réaction dont l'équation est combinaison linéaire d'autres équations de réaction.</p> <p>Interpréter ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p>
<p>Constante d'équilibre ; relation de Van't Hoff.</p> <p>Relation entre $\Delta_r G$, K° et Q_r.</p>	<p>Définir la constante thermodynamique d'équilibre à partir de l'enthalpie libre standard de réaction.</p> <p>Prévoir le sens de réaction à P et T fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de K° et Q_r.</p> <p>Énoncer et exploiter la relation de Van't Hoff.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre thermodynamique à une température quelconque dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre thermodynamique d'une réaction par combinaison de constantes d'équilibres thermodynamiques</p>

<p>État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.</p>	<p>d'autres réactions.</p> <p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour déterminer la valeur d'une constante d'équilibre en solution aqueuse.</p>
<p>Caractérisation de l'état intensif d'un système en équilibre physico-chimique : variance, nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Optimisation d'un procédé chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> – par modification de la valeur de K°; – par modification de la valeur du quotient réactionnel. 	<p>Reconnaître si une variable intensive est ou non un paramètre d'influence d'un équilibre chimique.</p> <p>Recenser les variables intensives pertinentes de description du système à l'équilibre pour en déduire le nombre de degrés de liberté de celui-ci.</p> <p>Identifier les paramètres d'influence et leur sens d'évolution pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents décrivant une unité de synthèse industrielle, analyser les choix industriels, aspects environnementaux inclus.</p>

ÉLECTROCHIMIE

Présentation

L'approche adoptée dans cette partie est principalement qualitative, et en dehors de l'étude thermodynamique d'une pile, elle ne requiert aucun formalisme physique ou mathématique.

Les caractéristiques générales des courbes courant-potentiel sont présentées sur différents exemples afin que les étudiants soient capables de proposer l'allure qualitative de courbes à partir d'un ensemble de données cinétiques et thermodynamiques fournies.

Ces courbes sont utilisées pour justifier ou prévoir le fonctionnement de dispositifs d'intérêt industriel, économique et écologique mettant en jeu la conversion énergie chimique-énergie électrique, qu'ils soient sièges de réactions d'oxydoréduction spontanées (piles électrochimiques, piles à combustibles, phénomènes de corrosion humide) ou forcées (électrolyseurs et accumulateurs).

L'ensemble des aspects étudiés donne lieu à des activités expérimentales qui visent à illustrer les phénomènes présentés et à souligner l'intérêt des dispositifs électrochimiques pour la détermination de grandeurs thermodynamiques et électrochimiques.

Les approches documentaires permettent de mettre en évidence la complexité des dispositifs de conversion énergie chimique-énergie électrique, au-delà de l'aspect strictement électrochimique.

Objectifs généraux de formation

- Choisir de manière rigoureuse et décrire le système physico-chimique étudié.
- Élaborer qualitativement des outils graphiques à partir d'un ensemble de données.

– Pratiquer un raisonnement qualitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Approche qualitative de la cinétique électrochimique	
<p>Surtension.</p> <p>Allure des courbes courant-potentiel (intensité ou densité de courant) :</p> <ul style="list-style-type: none"> – systèmes rapides et systèmes lents ; – nature de l'électrode ; – courant limite de diffusion ; – vagues successives ; – mur du solvant. 	<p>Décrire le montage à trois électrodes permettant de mesurer une surtension.</p> <p>Associer vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant.</p> <p>Reconnaître le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes courant-potentiel.</p> <p>Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion.</p> <p>Identifier des paliers de diffusion sur des relevés expérimentaux. Avec la loi de Fick, relier l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif et à l'aire de la surface immergée de l'électrode.</p> <p>Donner l'allure qualitative de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données de potentiels standard, de concentrations et de surtensions « de seuil ».</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant des courbes courant-potentiel.</p>
2. Phénomènes de corrosion humide	
Transformations spontanées : notion de potentiel mixte.	Positionner qualitativement un potentiel mixte sur un tracé de courbes courant-potentiel.
<p>Potentiel de corrosion, courant de corrosion. Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné.</p> <p>Corrosion différentielle par hétérogénéité du support ou du milieu. .</p>	<p>Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion uniforme à l'aide de données expérimentales, thermodynamiques et cinétiques.</p> <p>Citer des facteurs aggravants de la corrosion.</p> <p>Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion différentielle faisant intervenir deux métaux à l'aide de courbes courant-potentiel.</p>
<p>Protection contre la corrosion :</p> <ul style="list-style-type: none"> – revêtement ; – passivation ; – anode sacrificielle ; – protection électrochimique par courant imposé. 	<p>Exploiter des tracés de courbes courant-potentiel pour expliquer qualitativement :</p> <ul style="list-style-type: none"> – la qualité de la protection par un revêtement métallique ; – le fonctionnement d'une anode sacrificielle. <p>Mettre en œuvre un protocole illustrant les phénomènes de corrosion et de protection.</p>
3. Énergie chimique et énergie électrique : conversion et stockage	
3.1. Conversion d'énergie chimique en énergie électrique	

<p>Approche thermodynamique.</p> <p>Approche cinétique.</p>	<p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique.</p> <p>Citer la relation entre la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de réaction.</p> <p>Déterminer la capacité d'une pile en Ah.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide.</p> <p>Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif électrochimique.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale utilisant des piles.</p>
3.2. Conversion d'énergie électrique en énergie chimique	
<p>Caractère forcé de la transformation. Électrolyseur.</p> <p>Dépôt électrolytique.</p> <p>Recharge d'un accumulateur.</p>	<p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension de seuil.</p> <p>Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.</p> <p>Évaluer l'épaisseur d'un dépôt électrolytique ou la masse de produit formé pour une durée donnée d'électrolyse.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes dans la recharge d'un accumulateur.</p> <p>Évaluer l'épaisseur d'un dépôt électrolytique ou la masse de produit formé pour une durée donnée d'électrolyse.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer la recharge d'un accumulateur et prévoir la valeur de la tension de seuil.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur des accumulateurs (lithium ion, nickel-métal hydrure), comparer la constitution, le fonctionnement, et l'efficacité de tels dispositifs.</p>

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique de PCSI. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves

d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine conversion de puissance

- Wattmètre numérique
- Transformateur à noyau ferromagnétique
- Pont de Graetz
- Machine à courant continu
- Alimentation stabilisée

2. Domaine électrique

- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre
- ALI
- Multiplieur analogique
- Porte logique

3. Domaine ondes

- Câble coaxial, bouchons adaptés
- Emetteurs et récepteurs à ultrasons
- Haut parleur, microphone

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique PSI sont d'une part ceux qui figurent dans l'appendice 2 du programme de PCSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'étude de l'outil « gradient » abordée en PCSI en introduisant de nouveaux opérateurs : seules leurs expressions en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Toutes les autres formules utiles (expressions en coordonnées cylindriques ou sphériques, actions sur des produits, combinaisons d'opérateurs, etc.) doivent être fournies.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en PCSI en admettant la décomposition d'une fonction non périodique du temps en une somme continue de fonctions sinusoïdales. De même qu'en PCSI où le calcul des coefficients d'un développement en série de Fourier est exclu, on ne cherche pas, en PSI, à expliciter le poids relatif et les déphasages relatifs des différentes composantes de Fourier, de telle sorte que la transformée de Fourier n'est pas exigible. On insiste en revanche sur la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f / \partial x = g(x,y)$

à y fixé en introduisant une fonction $\phi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse vectorielle	
a) gradient	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à t fixé. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.
b) divergence	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
c) rotationnel	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
d) laplacien d'un champ scalaire	Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
e) laplacien d'un champ de vecteurs	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes.
f) cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse de Fourier	
Synthèse spectrale d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition.
Synthèse spectrale d'une fonction non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale Δf et la durée caractéristique Δt d'un signal non périodique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Equations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.

Appendice 3 : outils transversaux

La liste ci-dessous explicite un certain nombre d'outils transversaux dont la maîtrise est indispensable au physicien. Leur apprentissage progressif et contextualisé doit amener les étudiants au bout des deux années de CPGE à en faire usage spontanément quel que soit le contexte. S'agissant de l'analyse dimensionnelle, il convient d'éviter tout dogmatisme : en particulier la présentation de la dimension d'une grandeur par le biais de son unité dans le système international est autorisée. S'agissant de la

recherche d'une expression par analyse dimensionnelle il ne s'agit en aucun cas d'en faire un exercice de style : en particulier le théorème Pi de Buckingham est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse de pertinence	
Homogénéité d'une expression.	Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs mise en jeu.
Caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs mise en jeu.
Sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre.	Interpréter qualitativement et en faire un test de pertinence.
Limites d'une expression pour des valeurs nulles ou infinies des paramètres.	Tester les limites d'une expression. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Nullité d'une expression.	Repérer l'annulation d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Divergence d'une expression.	Repérer la divergence d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence. Proposer éventuellement des éléments non pris en compte dans le modèle susceptibles de brider la divergence (frottements, non linéarités, etc...).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Calcul numérique	
Calcul numérique d'une expression.	Calculer sans outil l'ordre de grandeur (puissance de dix) d'une expression simple. Afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données et une unité correcte dans le cas d'un résultat dimensionné. Commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaisons à des valeurs de référence bien choisies, etc.). En faire un test de pertinence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Outils de communication	
Tableaux de données numériques simples.	Transformer un tableau de données numériques en représentation graphique. Renseigner correctement les axes.
Exploitation d'une représentation graphique.	Repérer les comportements intéressants dans le contexte donné : monotonie, extrema, branches infinies, signes. Interpréter le caractère localement rectiligne selon

Schémas et figures.	<p>qu'on travaille en échelles linéaire, semi-logarithmique ou log-log.</p> <p>Transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels.</p> <p>Élaborer une courte synthèse à partir de plusieurs éléments graphiques : tableaux, schémas, courbes...</p>
---------------------	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Analyse dimensionnelle	
<p>Dimension d'une expression.</p> <p>Recherche d'une expression de type monôme par analyse dimensionnelle.</p>	<p>Déterminer la dimension d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.</p> <p>Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E=A^\alpha B^\beta C^\gamma$ par analyse dimensionnelle.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Analyse d'ordre de grandeur	
Comparaison en ordre de grandeur des différents termes d'une équation différentielle ou d'une équation aux dérivées partielles.	À partir d'une mise en évidence des échelles pertinentes d'un problème, évaluer et comparer l'ordre de grandeur des différents termes d'une équation afin de la simplifier en conséquence.

Programme de Physique – Chimie de la voie PTSI

Le programme de physique-chimie de la classe de PTSI s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer ces sciences aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en PTSI. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique-chimie, qui toutes peuvent le guider dans l'interprétation et la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et

les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une **approche numérique** ou d'une **approche documentaire**.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de l'année de PTSI.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur. Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant deux grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut aussi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'importance du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique (impédance, facteur de qualité, lois de modulation pour ne citer que quelques exemples).

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Cette liste est délibérément placée en appendice du programme. L'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des savoir-faire techniques associés est ainsi explicitement exclue.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle associé - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation, les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on

soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie, avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral. Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans le reste du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure en appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent

de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	<p>Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique.</p> <p>Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.</p>
<p>Notion d'incertitude, incertitude-type.</p> <p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>

Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.

Utiliser un logiciel de régression linéaire.

Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.

Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.

Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme de formation disciplinaire - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut-être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie « Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des compétences ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>1. Mesures de longueurs, d'angles, de volumes et de masses</p> <p>Longueurs : sur un banc d'optique.</p> <p>Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.</p> <p>Angles : avec un goniomètre.</p>	<p>Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement du viseur entre deux positions.</p> <p>Pouvoir évaluer avec une précision donnée, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.</p> <p>Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette auto-collimatrice.</p> <p>Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p>

<p>Longueurs d'onde.</p> <p>Volume : avec une pipette, éprouvette, fiole, burette. Verrerie jaugée et graduée.</p> <p>Masse : avec une balance de précision</p>	<p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.</p> <p>Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.</p> <p>Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide ou d'une solution de concentration molaire connue.</p>
<p>2. Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.</p> <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel/Déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.</p>
<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. <p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p>	<p>Définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...).</p> <p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.</p> <p>Visualiser la caractéristique d'un capteur à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p>

<p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolation, amplification, filtrage - sommation, intégration <p>- numérisation.</p>	<p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique. Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p> <p>Élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une conversion A/N et N/A.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une image numérique.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...).</p> <p>Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette auto-collimatrice et un collimateur.</p> <p>Acquérir (webcam, appareil photo numérique,...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel (obtention d'un profil d'intensité sur un segment, extraction d'un contour en modifiant le contraste, mesure d'une longueur par comparaison à un étalon, ...) pour conduire l'étude du phénomène.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une accélération.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un accéléromètre.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température : thermomètre, thermocouple, thermistance, ou capteur infrarouge.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>
<p>7. Mesures de pH, de conductance, d'absorbance</p> <p>pH</p>	<p>Utiliser les appareils de mesure (pH, conductance, tension, absorbance) en s'aidant d'une notice.</p>

Conductance et conductivité	Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
Absorbance	
8. Analyses chimiques qualitatives et quantitatives	
- Caractérisation d'un composé Tests de reconnaissance ; témoin.	Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.
- Dosages par étalonnage Conductimétrie Spectrophotométrie	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.
- Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher.
Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la concentration d'une espèce dosée. Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre.
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale. Justifier la nécessité de faire un titrage indirect. Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.
- Suivi cinétique de transformations chimiques Suivi en continu d'une grandeur physique. Rôle de la température.	Mettre en œuvre une méthode de suivi temporel. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

Prévention des risques au laboratoire

Les étudiants doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique - optique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques. Utiliser les sources laser de manière adaptée.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser, notamment dans les domaines de la cristallographie, de la modélisation moléculaire, et plus généralement dans les situations exigeant une représentation tridimensionnelle,
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Formation disciplinaire

A. Premier semestre

1. Signaux Physiques

Présentation

Cette partie doit être traitée en totalité avant d'aborder les autres parties du programme. Elle porte sur l'étude des signaux physiques, et plus particulièrement sur celle des signaux sinusoïdaux, qui jouent un rôle central dans les systèmes linéaires. Cette première partie s'appuie sur un spectre large de concepts qui ont été abordés au lycée :

- en classe de seconde : signal périodique et spectre ;
- en classe de première scientifique : énergie électrique, loi d'Ohm, loi de Joule, lentilles minces, longueur d'onde dans le visible, spectres de sources lumineuses ;
- en classe de terminale scientifique : signaux numériques, ondes progressives, diffraction, interférences, effet Doppler, lois de Newton, énergie mécanique, oscillateur amorti.

La familiarité des étudiants avec la plupart des notions abordées dans cette partie doit faciliter la transition vers une physique plus quantitative qu'au lycée, ce qui nécessite une acquisition progressive d'outils nécessaires à la formalisation mathématique des lois de la physique. Les thèmes abordés dans cette partie ont été retenus pour leur caractère motivant ou formateur. Il convient d'introduire progressivement le formalisme en soulignant la richesse des conclusions auxquelles il permet d'accéder. Dans toute cette partie, on ne s'intéresse, à une exception près, qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques. Il convient à cet égard d'être conscient que la pratique des circuits électriques ne figure que très peu dans les programmes du lycée.

Objectifs généraux de formation

Cette première partie de programme « Signaux physiques » s'inscrit dans la continuité du programme de Terminale S, tout en amorçant une nécessaire transition vers une formalisation plus approfondie des lois de la physique. À travers les contenus et les capacités exigibles sont développées des compétences qui seront par la suite valorisées, parmi lesquelles :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans l'étude de l'évolution temporelle d'un système physique
- comprendre la représentation des solutions dans un portrait de phase
- relier linéarité et superposition
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire
- interpréter physiquement et savoir reconnaître la forme analytique d'un signal qui se propage
- relier conditions aux limites et quantification, conditions aux limites et décomposition en ondes stationnaires
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul

À l'issue de cette première partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises ; il convient donc de les travailler chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Le **bloc 1** s'articule autour d'un système simple connu, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution

temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Oscillateur harmonique	
Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales. Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation. Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.

Le **bloc 2** est consacré à la propagation du signal. Il est ici indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite ici à une équation d'ondes. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux signaux dans le signal résultant. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres et de préparer à la quantification de l'énergie en mécanique quantique. La diffraction est abordée de manière purement descriptive et expérimentale, et est envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'une part d'introduire l'approximation de l'optique géométrique et d'autre part de préparer l'interprétation ultérieure de l'inégalité de Heisenberg. Ce bloc se termine par une première approche, expérimentale elle aussi, de la manifestation vectorielle d'une onde transverse, autour de la loi de Malus.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques. Réaliser l'analyse spectrale d'un signal. Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.

Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p> <p>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.</p>
Ondes stationnaires mécaniques.	<p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p> <p>Savoir qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</p>
Diffraction à l'infini.	<p>Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.</p> <p>Utiliser la relation $\sin\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p>

Le **bloc 3** porte sur l'optique géométrique. Il ne doit pas être enseigné ou évalué pour lui-même, mais doit servir de point d'appui à des approches expérimentales en première année et à l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Optique géométrique	
Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.

<p>Lentilles minces sphériques.</p>	<p>Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton).</p> <p>Établir et utiliser la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</p> <p>Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</p>
<p>L'œil.</p>	<p>Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.</p> <p>Connaître les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.</p>

L'introduction au monde quantique fait l'objet du **bloc 4**. Elle s'inscrit dans la continuité du programme de la classe de terminale scientifique. Elle est restreinte, comme dans toute cette partie « Signaux physiques » à l'étude de systèmes unidimensionnels. La réflexion sur les thèmes abordés ici doit avant tout être qualitative ; toute dérive calculatoire devra être soigneusement évitée. Les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-corpuscule et l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>4. Introduction au monde quantique</p>	
<p>Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.</p>	<p>Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques.</p> <p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.</p> <p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.</p>
<p>Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.</p>	<p>Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.</p>

Inégalités de Heisenberg.	Approche documentaire : comprendre les conséquences d'une inégalité d'Heisenberg fournie dans une expérience nécessitant une description quantique.
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification

Le **bloc 5** pose les bases nécessaires à l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Si le programme se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C, lors des travaux pratiques il est possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuits électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension.	Savoir que la charge électrique est quantifiée. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire. Puissance.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer les ordres de grandeurs des composants R, L, C. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.

Résistance de sortie, résistance d'entrée.	<p>Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.</p> <p>Évaluer les grandeurs à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.</p>
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	<p>Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.</p>

Les **blocs 6, 7 et 8** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance *a priori* de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie. L'étude de régimes libres à partir de portraits de phase est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	<p>Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</p> <p>Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Déterminer les grandeurs électriques en régime permanent en remplaçant les bobines et les condensateurs par des interrupteurs fermés ou ouverts.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir l'évolution du système, avant toute résolution de l'équation différentielle, à partir d'une analyse s'appuyant sur une représentation graphique de la dérivée temporelle de la grandeur en fonction de cette grandeur.</p>

	Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
7. Oscillateurs amortis	
Circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système en utilisant un portrait de phase fourni.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Connaître la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p>
Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes.	Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Association de deux impédances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental mettant en évidence un phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la méthode des complexes pour étudier le</p>

	<p>régime forcé.</p> <p>À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation.</p> <p>Relier l'acuité d'une résonance forte au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p>
--	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
8. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	<p>Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.</p> <p>Définir la valeur moyenne et la valeur efficace.</p>
Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	<p>Prévoir le comportement d'un filtre à fréquence nulle ou infinie en remplaçant les bobines et les condensateurs par des interrupteurs fermés ou ouverts.</p> <p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.</p>
Notion de gabarit.	Établir le gabarit d'un filtre en fonction du cahier des charges.
Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	<p>Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.</p> <p>Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre...).</p>

2. Mécanique 1

Présentation

Le programme de mécanique de PTSI s'inscrit dans le prolongement du programme de Terminale S où la loi fondamentale de la dynamique a été exprimée en termes de quantité de mouvement, puis utilisée pour l'étude du mouvement du point matériel. L'objectif majeur du programme de PTSI est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (principe d'inertie, loi de la quantité de mouvement, principe des actions réciproques, loi du moment cinétique, loi de l'énergie cinétique). S'agissant du caractère postulé ou démontré, le professeur est libre de présenter tout ou partie de ces lois comme des postulats ou comme des conséquences de postulats en nombre plus restreint. En conséquence, aucune question ne peut être posée à ce sujet. Pour illustrer ces lois fondamentales, il ne s'agit pas de se restreindre à la dynamique du point matériel. Des exemples de dynamique du solide seront introduits (translation et rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen), avec toutefois des limitations strictes : l'étude générale d'un mouvement composé d'une translation dans un référentiel galiléen et d'une rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel barycentrique ne figure pas au programme.

En première année on se limite à l'étude de la dynamique dans un référentiel galiléen : l'introduction des forces d'inertie est prévue en deuxième année.

Objectifs généraux de formation

Après la partie « Signaux physiques » du programme, qui implique uniquement des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace : il convient d'accorder toute son importance à la marche à franchir pour les étudiants. Par ailleurs, la mécanique doit contribuer à développer plus particulièrement des compétences générales suivantes :

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires)
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux « petits » angles et système masse-ressort
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces par exemple)
- prendre conscience des limites d'une théorie (limites relativistes par exemple)
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait intuitivement ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soit pleinement développé, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations modélisées à l'extrême (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

Le **bloc 1** est une approche de la cinématique du point, les exemples étant limités aux mouvements plans, et de la cinématique du solide, limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe. Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Si la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue, tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systemes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Exemple 1 : mouvement de vecteur-accélération constant.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps. Obtenir la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Exemple 2 : mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires planes. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.

Le **bloc 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...). Le programme insiste sur le portrait de phase considéré comme un regard complémentaire sur les équations différentielles. Les portraits de phase ne doivent pas donner lieu à des débordements calculatoires : leur construction explicite est donc limitée au cas des oscillations harmoniques au voisinage d'une position d'équilibre. En revanche les étudiants devront savoir interpréter un portrait de phase plus complexe qui leur serait fourni ou qu'ils auraient obtenu expérimentalement ou à l'aide d'un logiciel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Loi de la quantité de mouvement	
Forces. Principe des actions réciproques.	Établir un bilan des forces sur un système, ou plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur une figure. Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Quantité de mouvement d'un point et d'un système de points. Lien avec la vitesse du centre d'inertie d'un système fermé.	Établir l'expression de la quantité de mouvement d'un système restreint au cas de deux points sous la forme $\vec{p} = m\vec{v}(G)$.
Référentiel galiléen. Principe de l'inertie.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.
Poussée d'Archimède.	Exploiter la loi d'Archimède.
Influence de la résistance de l'air.	Approche numérique : Prendre en compte la traînée pour modéliser une situation réelle. Approche numérique : Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats fournis par un logiciel d'intégration numérique. Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.

Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire. Établir l'équation du portrait de phase (intégrale première) dans ce cadre et le tracer.
-----------------	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Savoir que la puissance dépend du référentiel.
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.
Énergie potentielle. Énergie mécanique.	Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle).
Mouvement conservatif. Mouvement conservatif à une dimension.	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales. Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle. Expliquer qualitativement le lien entre le profil d'énergie potentielle et le portrait de phase.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	Identifier cette situation au modèle de l'oscillateur harmonique. Approche numérique : utiliser les résultats fournis par une méthode numérique pour mettre en évidence des effets non linéaires.
Barrière de potentiel.	Évaluer l'énergie minimale nécessaire pour franchir la barrière.

Le **bloc 3**, centré sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel. Citer une application
Mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire. Approche documentaire : analyser des documents scientifiques montrant les limites relativistes en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ et $p = \gamma mv$. Citer une application

3. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation.

Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, l'étude quantitative de l'état final d'un système en transformation chimique est réalisée à partir d'une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. L'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final ; on s'appuiera sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel. Les compétences relatives à cette partie du programme seront ensuite mobilisées régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de la partie thermodynamique chimique. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de Terminale, permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de sa loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle voire à la méthode intégrale, pour

l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées pour la première fois en PTSI, il est recommandé de travailler en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques et d'avoir en chimie des exigences progressives dans la maîtrise de cet outil.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique ;
- Distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- Exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle ;
- Proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- Confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

1. Description d'un système et évolution vers un état final

Notions et contenus	Capacités exigibles
États physiques et transformations de la matière	
États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin, variétés allotropiques Notion de phase. Transformations physique, chimique, nucléaire. Les transformations physiques: diagramme d'état (P , T).	Reconnaître la nature d'une transformation. Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T .
Système physico-chimique	
Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique	
Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Équation de réaction ; constante thermodynamique d'équilibre. Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : avancement, activité, quotient	Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée. Déterminer une constante d'équilibre. Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque.

<p>réactionnel, critère d'évolution.</p> <p>Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p>	<p>Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélanges de gaz parfaits avec référence à l'état standard.</p> <p>Exprimer le quotient réactionnel.</p> <p>Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique.</p> <p>Identifier un état d'équilibre chimique.</p> <p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>
---	---

2. Évolution temporelle d'un système chimique et mécanismes réactionnels

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>En réacteur fermé de composition uniforme</p> <p>Vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit.</p> <p>Vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction.</p> <p>Temps de demi-vie d'un nucléide radioactif.</p> <p>Loi empirique d'Arrhenius ; énergie d'activation.</p>	<p>Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique.</p> <p>Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit, quand cela est possible.</p> <p>Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</p> <p>Exprimer la loi de vitesse si la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée.</p> <p>Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique.</p> <p>Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction.</p> <p>Confirmer la valeur d'un ordre par la méthode intégrale, en se limitant strictement à une décomposition d'ordre 0, 1 ou 2 d'un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour des radionucléides, aborder par exemple les problématiques liées à leur utilisation, leur stockage ou leur retraitement.</p> <p>Déterminer l'énergie d'activation d'une réaction chimique.</p> <p>Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une réaction chimique à partir de valeurs de la constante cinétique à différentes températures.</p>

	Approche documentaire : à partir de documents, découvrir la notion de mécanismes réactionnels
--	--

4. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. En première année, on se limite aux principales caractéristiques de la liaison chimique, à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles de description des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- Le modèle de Lewis, vu en terminale, est réinvesti.
- L'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible ;
- La polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première S, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible ;
- La description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces.
- À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :
 - Utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité...) ;
 - Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
 - S'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
 - Appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

1. Classification périodique des éléments et électronégativité

Notions et contenus	Capacités exigibles
Atomes et éléments	
Isotopes, abondance isotopique, stabilité. Ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et du noyau.	Utiliser un vocabulaire précis : élément, atome, corps simple, espèce chimique, entité chimique.
Nombres quantiques n , l , m_l et m_s .	Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.

Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence.	Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électroniques d'un atome donné. Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). Déterminer le nombre d'électrons non appariés d'un atome dans son état fondamental. Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.
Classification périodique des éléments	
Architecture et lecture du tableau périodique. Électronégativité.	Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant. Positionner dans le tableau périodique et reconnaître les métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes : métaux alcalins, halogènes et gaz nobles. Citer les éléments des périodes 1 à 2 de la classification et de la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique). Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains corps simples. Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne. Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.

2. Molécules et solvants

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des entités chimiques moléculaires	
Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée. Ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente. Liaison polarisée. Molécule polaire. Moment dipolaire.	Établir un schéma de Lewis pour une entité donnée. Relier la structure géométrique d'une molécule à l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent. Déterminer direction et sens du vecteur moment dipolaire d'une molécule ou d'une liaison.
Forces intermoléculaires	
Interactions de van der Waals. Liaison hydrogène. Ordres de grandeur énergétiques.	Lier qualitativement la valeur plus ou moins grande des forces intermoléculaires à la polarité et la polarisabilité des molécules.

	Prévoir ou interpréter les propriétés physiques de corps purs par l'existence d'interactions de van der Waals ou de liaisons hydrogène intermoléculaires.
Les solvants moléculaires	
Grandeurs caractéristiques : moment dipolaire, permittivité relative. Solvants protogènes (protiques). Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.	Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Justifier ou proposer le choix d'un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la réalisation d'une extraction et aux principes de la chimie verte.

B. Deuxième semestre

5. Mécanique 2

Dans le **bloc 4**, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1 Loi du moment cinétique	
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.
Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté ; moment d'inertie.	Maîtriser le caractère algébrique du moment cinétique scalaire. Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni.
Moment d'une force par rapport à un point ou un axe orienté. Couple. Liaison pivot. Notions simples sur les moteurs ou freins dans les dispositifs rotatifs.	Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier. Définir un couple. Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire. Savoir qu'un moteur ou un frein contient nécessairement un stator pour qu'un couple puisse s'exercer sur le rotor.
Loi du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen.	Reconnaître les cas de conservation du moment cinétique.
Loi scalaire du moment cinétique appliquée au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement. Lire et interpréter le portrait de phase : bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement

	<p>révolutif.</p> <p>Approche numérique : Utiliser les résultats fournis par un logiciel de résolution numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.</p> <p>Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.</p>
--	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2 Approche énergétique du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen	
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser la relation $E_c = \frac{1}{2} J_A \omega^2$, l'expression de J_A étant fournie.
Loi de l'énergie cinétique pour un solide.	Établir l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

Le **bloc 5** est motivé par ses nombreuses applications. La nature conique des trajectoires étant affirmé, on se limite à discuter la nature de la trajectoire sur un graphe donnant l'énergie potentielle effective et on ne poursuit l'étude dans le cas d'un champ newtonien (lois de Kepler) que dans le cas d'une trajectoire circulaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Mouvements dans un champ de force centrale conservatif	
Point matériel soumis à un seul champ de force centrale.	Déduire de la loi du moment cinétique la conservation du moment cinétique. Connaître les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.
Énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné à la valeur de l'énergie mécanique.
Champ newtonien. Lois de Kepler.	Énoncer les lois de Kepler pour les planètes et les transposer au cas des satellites terrestres.
Cas particulier du mouvement circulaire : satellite, planète.	Montrer que le mouvement est uniforme et savoir calculer sa période. Établir la troisième loi de Kepler dans le cas particulier de la trajectoire circulaire.

Satellite géostationnaire.	Calculer l'altitude du satellite et justifier sa localisation dans le plan équatorial.
Énergie mécanique dans le cas du mouvement circulaire puis dans le cas du mouvement elliptique.	Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire.
Vitesses cosmiques : vitesse en orbite basse et vitesse de libération.	Exprimer ces vitesses et connaître leur ordre de grandeur en dynamique terrestre.

6. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière S du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température *via* la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les élèves ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. Enfin, les élèves ont été sensibilisés à la notion d'irréversibilité en abordant le phénomène de diffusion thermique.

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

S'agissant de l'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire, il s'agit d'une introduction modeste: les étudiants doivent avoir compris pourquoi l'enthalpie intervient mais l'essentiel n'est pas la démonstration (qui sera reprise en deuxième année) ; il s'agit en revanche d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

L'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire est prévue en deuxième année.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique,

inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique.	Citer l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro.
Système thermodynamique. Surface de contrôle.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Citer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
Vitesse quadratique moyenne. Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.	Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.

	<p>Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).</p> <p>Expliquer la problématique du stockage des fluides.</p>
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	<p>Définir le système.</p> <p>Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.</p> <p>Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.</p>
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare. Transformations polytropiques d'un gaz parfait.	<p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.</p> <p>Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	<p>Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q.</p> <p>Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.</p> <p>Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.</p> <p>Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion...).</p>

Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	<p>Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.</p> <p>Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T.</p> <p>Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p>
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{\text{ech}} + S_{\text{créé}}$ avec $S_{\text{ech}} = \sum Q_i/T_i$.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.
Loi de Laplace.	Exploiter l'extensivité de l'entropie.
Cas particulier d'une transition de phase.	Énoncer les conditions d'application de la loi de Laplace et l'utiliser.
	Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	<p>Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.</p>

7. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants, puisque seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de première S. Cette partie s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole.

Le succès de cet enseignement au niveau de la classe de PTSI suppose le respect de ces limitations : cet enseignement n'est pas une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

À l'exception du bloc 6, les milieux sont considérés comme non magnétiques.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant
- utiliser la notion de moment magnétique
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques
- effectuer des bilans énergétiques
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction

Le **bloc 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de la classe de première S et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de

champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur. Une étude plus approfondie de la magnétostatique sera conduite en seconde année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans le **bloc 2. « Actions d'un champ magnétique »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Actions d'un champ magnétique	
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.

Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.
--	--

Le **bloc 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
<u>Flux d'un champ magnétique.</u> Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<u>Loi de Faraday.</u> Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit. Loi de modération de Lenz. Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday. Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés. Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algrébrisation.

Le **bloc 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
<u>Auto-induction.</u> Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.

Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
<u>Cas de deux bobines en interaction.</u> Inductance mutuelle entre deux bobines. Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé. Transformateur de tension.	Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.

Le **bloc 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** est centré sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage, puis par adjonction d'une force de rappel un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
<u>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.</u> Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Freinage par induction	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
<u>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique.</u> Moteur à courant continu à entrefer plan.	Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.

Haut-parleur électrodynamique.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace. Effectuer un bilan énergétique.
--------------------------------	--

Enfin, le **bloc 6. Convertisseurs électromécaniques** se veut être une modeste approche des machines électriques réelles mettant en évidence l'utilisation raisonnée de matériaux magnétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Convertisseurs électromécaniques	
Machines à courant continu, machines synchrones, machines asynchrones.	Approche documentaire : Justifier l'utilisation d'un matériau magnétique au regard de la puissance massique désignée.

8. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Cette partie constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- Effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- Appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie.

<p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée.</p> <p>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</p> <p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle.</p>
<p>Métaux et cristaux métalliques Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle cubique à faces centrées (CFC).</p>	<p>Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p> <p>Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents, découvrir quelques alliages, leurs propriétés et leurs utilisations.</p>
<p>Solides covalents et moléculaires</p>	<p>Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants.</p>
<p>Solides ioniques</p>	<p>Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques.</p>

9. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées au lycée, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises au lycée sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1. Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence. Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions d'oxydo-réduction	
Aspect thermodynamique. Dismutation et médimutation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.

2. Réactions acide-base et de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactions acido-basiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac. <p>Réactions de dissolution ou de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 	<p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide.</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>

3. Diagrammes potentiel-pH

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Diagrammes potentiel-pH</p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données.</p> <p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes.</p> <p>Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau.</p> <p>Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pH du milieu.</p> <p>Prévoir une éventuelle dismutation ou médimutation.</p>

Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.
Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

4. Chimie

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PTSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Equations différentielles linéaires à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^\alpha$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.

Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Les translations sont présentées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes. Courbes planes paramétrées.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$. Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. (cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Nombres complexes et représentation dans le plan.
Somme et produit de nombres complexes.

Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Programme de physique-chimie de la voie PT

Le programme de physique-chimie de la classe de PT s'inscrit dans la continuité du programme de PTSI. La formation scientifique de la filière PT s'appuie sur des champs disciplinaires variés, choisis pour leurs applications pratiques dans des grands secteurs technologiques : électromagnétisme, conversion d'énergie électro-chimique, optique interférentielle, électronique, thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques. Le programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique,
- analyser et modéliser,
- valider,
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral,
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de PT, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de PT. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de PT inclut celui de la classe de PTSI, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de MPSI, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de PT. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de MP. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Trois appendices listent le matériel, les outils mathématiques et les outils transversaux que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le

cadre des enseignements de physique en fin de l'année de PT. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire. .

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences industrielles pour l'ingénieur.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la

modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes

	<ul style="list-style-type: none"> - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que

les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

Partie 2 : Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de PT durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de PTSI dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année de PT.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles	
	<p>Mesurer le déplacement du miroir mobile d'un interféromètre de Michelson.</p> <p>Mesurer une longueur à l'aide d'un oculaire à vis micrométrique.</p>
2. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale	<p>Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition.</p> <p>Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.</p>
3. Électricité	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines temporel et fréquentiel.
Électronique numérique.	Numériser un signal et utiliser un algorithme numérique pour effectuer un filtrage numérique de ce signal.
Onde électromagnétique.	Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.
4. Optique	
Analyser une lumière.	<p>Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.</p>
Analyser une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
Étudier la cohérence temporelle d'une source.	<p>Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni.</p> <p>Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une source et du $\Delta\lambda$ d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.</p>
5. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique le protocole étant donné.

Partie 3 - Formation disciplinaire

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

Cette partie du programme de PT s'intéresse aux phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide et à la conduction thermique dans les machines thermiques. Elle est essentiellement abordée à travers la mise en œuvre de bilans d'énergie. Elle prolonge le programme de thermodynamique de la classe de PTSI en introduisant le formalisme de la thermodynamique différentielle.

Les principes de la thermodynamique pour un système fermé sont repris sous forme infinitésimale. Les identités thermodynamiques sont introduites dans le but d'établir et de comprendre les allures des courbes dans les diagrammes thermodynamiques ; il ne s'agit pas de les exploiter pour retrouver les expressions des fonctions d'état, ces dernières devant toujours être fournies. L'application des deux principes aux fluides en écoulement stationnaire dans les systèmes ouverts conduit ensuite à l'analyse de quelques systèmes industriels.

Simultanément, on introduit dans la classe de PT des notions de base de mécanique des fluides. L'objectif est de décrire les écoulements simples de fluides dans les machines thermiques en évoquant les phénomènes de perte de charge et le rôle de la viscosité. L'approche se fonde exclusivement sur la notion de bilan macroscopique : toute formulation locale de la mécanique des fluides, notamment à l'aide d'opérateurs vectoriels, est exclue. Enfin, on aborde la conduction thermique à l'aide de bilans infinitésimaux, la loi de Newton étant introduite pour faire le lien avec la thermodynamique industrielle.

Objectifs généraux de formation

Le cours de thermodynamique de PT permet une révision du cours de thermodynamique de PTSI et contribue à asseoir les compétences correspondantes.

Les compétences suivantes sont développées dans cette partie du programme.

- Maîtriser les notions de champs scalaire et vectoriel.
- Découper un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux, puis sommer les contributions infinitésimales d'une grandeur extensive.
- Définir une surface de contrôle afin de réaliser des bilans de grandeurs extensives.
- Utiliser des diagrammes thermodynamiques de fluides réels.

Le **bloc 1** introduit sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Le **bloc 2** présente les principes de la thermodynamique sous forme différentielle. Dans le but d'unifier la présentation en physique et en chimie, les identités thermodynamiques sont introduites dans le cas d'un système de composition variable. Toute étude générale de la notion de potentiel thermodynamique est strictement hors-programme. Pour une grandeur extensive A , on note a la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Ces outils sont réinvestis dans le **bloc 3** à l'occasion de l'étude des changements d'état des corps purs. On y exploite également les diagrammes et tables des fluides réels, afin d'habituer les étudiants à ne pas se limiter à des situations idéales (gaz parfait...).

Le **bloc 4** introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans pourront ensuite être effectués. On pourra faire le lien avec la signification physique des opérateurs rotationnel et divergence introduits dans le cours d'électromagnétisme.

Dans le **bloc 5**, on effectue des bilans énergétiques dans une conduite. On se place dans un premier temps dans le cadre de la dynamique des fluides parfaits. Toute utilisation de l'équation d'Euler ou de Navier-Stokes est exclue. On établit la relation de Bernoulli. Puis les pertes de charge dans les conduites sont prises en compte. On initie à ce sujet les étudiants à la lecture d'abaques. Dans un second temps, on tient compte des transferts thermiques pour exprimer les principes de la thermodynamique pour un système en écoulement.

Le **bloc 6** permet un approfondissement du cours de première année, par l'étude de cycles industriels. On se limite à des calculs relatifs au modèle du gaz parfait ou à l'utilisation des diagrammes d'état si le fluide est réel. Aucune connaissance relative à la technologie des installations ou aux différents types de cycles n'est exigible.

Le **bloc 7** aborde l'étude de la conduction thermique dans les solides. On se limite à l'étude de problèmes unidimensionnels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques. Champ de pression.	Distinguer les forces de pression des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\mu g$.	Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Comparer les variations de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Exprimer une résultante de forces de pression.
2. Expression différentielle des principes thermodynamiques.	
Échelle mésoscopique, transformation infinitésimale.	Découper un système en sous-systèmes élémentaires. Découper une transformation finie en une succession de transformations infinitésimales.
Premier principe pour un système fermé sous la forme $dU + dE_c = \delta W + \delta Q$. Deuxième principe pour un système fermé sous la forme $dS = \delta S_{\text{éch}} + \delta S_{\text{créée}}$ avec $\delta S_{\text{éch}} = \sum \delta Q_i / T_i$.	Appliquer les principes pour obtenir une équation différentielle relative au système considéré.

Potentiel thermodynamique. Fonction enthalpie libre G.	Justifier que G est le potentiel thermodynamique adapté à l'étude des transformations isothermes, isobares et spontanées.
Identités thermodynamiques pour un système fermé de composition variable. Potentiel chimique.	<p>Citer les expressions des différentielles de U, H, G.</p> <p>Définir la température et la pression thermodynamiques, définir le potentiel chimique.</p> <p>Distinguer les caractères intensif ou extensif des variables utilisées.</p> <p>Écrire les principes et les identités thermodynamiques par unité de masse du système.</p> <p>Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques.</p>
Système fermé de composition constante.	Exprimer les identités thermodynamiques.
3. Diagrammes d'état des fluides réels purs.	
Notion de phase.	Définir et dénombrer les phases d'un système physico-chimique.
Évolution et équilibre d'un corps pur lors d'un changement d'état isotherme.	Écrire et utiliser les conditions d'évolution et d'équilibre en termes de potentiel chimique.
Enthalpie de changement d'état.	<p>Citer des ordres de grandeur d'enthalpies massiques de vaporisation.</p> <p>Calculer l'énergie récupérable par transfert thermique lors de la condensation totale d'un fluide à pression constante.</p>
Variations élémentaires d'enthalpie et d'entropie au cours d'un changement d'état isotherme.	Lier mathématiquement les variations élémentaires de l'enthalpie et de l'entropie à l'enthalpie de changement d'état.
Règle des moments.	Utiliser la règle des moments.
Diagrammes de Clapeyron (P,v), entropique (T,s), de Mollier (h,s) et des frigoristes (log P,h).	<p>Représenter, pour chaque diagramme, l'allure des courbes isothermes, isobares, isochores, isentropiques, isenthalpes.</p> <p>Établir l'équation de ces courbes dans la limite du gaz parfait, dans la limite du liquide incompressible et indilatable.</p> <p>Exploiter un diagramme pour déterminer une grandeur physique.</p>
Tables thermodynamiques.	Exploiter les tables thermodynamiques pour calculer des grandeurs physiques dans le domaine diphasique, ou pour prévoir l'état physique d'un fluide.

4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite.	
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	Décrire localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant.	Associer le caractère a priori divergent ou rotationnel d'un écoulement à une carte de champ de vitesse fournie.
Débit massique.	Exprimer le débit massique en fonction de la vitesse d'écoulement. Exploiter la conservation du débit massique.
Débit volumique.	Justifier l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide de volume massique constant et uniforme en écoulement.
Écoulements laminaires.	Approche documentaire : Relier la nature de l'écoulement à la valeur du nombre de Reynolds. Distinguer, sur un document, un écoulement laminaire d'un autre type d'écoulement.
5. Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite.	
Fluides parfaits. Fluides newtoniens : notion de viscosité.	Caractériser un fluide parfait par un profil de vitesse uniforme dans une même section droite. Citer des ordres de grandeur de viscosité dynamique de gaz et de liquides (dans le cadre des machines hydrauliques et thermiques, des lubrifiants, ...). Relier l'expression de la force surfacique de cisaillement au profil de vitesse. Exploiter les conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite. Lier qualitativement l'irréversibilité d'un écoulement à la viscosité.
Bilan de grandeurs énergétiques extensives.	Définir un volume et une surface de contrôle stationnaire. Énoncer et mettre en œuvre la conservation de l'énergie mécanique pour des systèmes ouverts et fermés.
Bilan d'énergie pour un fluide parfait, relation de Bernoulli.	Établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe.

	Exploiter la relation de Bernoulli pour un fluide incompressible.
	Approche documentaire : Analyser des méthodes et des dispositifs de mesure des grandeurs caractéristiques d'un écoulement.
Perte de charge singulière et régulière.	Modifier la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie due aux frottements. Mettre en évidence une perte de charge.
Travail indiqué massique w_i d'une machine.	Définir le travail indiqué massique comme la somme des travaux massiques autres que ceux de la force de pesanteur et des forces de pression d'admission et de refoulement. Relier la notion de travail indiqué massique à la présence de parties mobiles.
Premier et deuxième principes pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie	Établir et utiliser ces principes sous la forme <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_i + q$ • $\Delta s = s_{\text{éch}} + s_{\text{créée}}$. Associer l'entropie massique créée aux causes d'irréversibilité de fonctionnement de la machine. Repérer les termes usuellement négligés.
Systèmes à plusieurs entrées et sorties	Exprimer la conservation du débit massique. Exprimer le premier principe en utilisant les puissances indiquée et thermique.
6. Thermodynamique industrielle.	
6.1. Étude sommaire de quelques dispositifs élémentaires des installations industrielles.	
Compresseur et turbine calorifugés.	Établir et exploiter la variation d'enthalpie massique pour une transformation réversible. Établir et exploiter la variation d'enthalpie massique pour une transformation irréversible, le rendement à l'isentropique étant défini et fourni.
Mélangeur et séparateur isobares globalement calorifugés.	Établir et exploiter les relations entre enthalpies et débits massiques.
Échangeur thermique globalement calorifugé.	Établir et exploiter la relation entre les puissances thermiques reçues par les deux écoulements.
Détendeur calorifugé (laminage).	Établir et exploiter la nature isenthalpique de la transformation.
Tuyère calorifugée.	Établir la relation entre la vitesse de sortie des gaz et la variation d'enthalpie.
6.2. Cycles industriels.	
Moteurs, réfrigérateurs, pompes à chaleur.	Pour une machine dont les éléments

	<p>constitutifs sont donnés, repérer les sources thermiques, le sens des échanges thermiques et mécaniques.</p> <p>Relier le fonctionnement d'une machine au sens de parcours du cycle dans un diagramme thermodynamique.</p> <p>Exploiter des diagrammes et des tables thermodynamiques pour déterminer les grandeurs thermodynamiques intéressantes.</p> <p>Définir et exprimer le rendement, l'efficacité ou le coefficient de performance de la machine.</p> <p>Citer des ordres de grandeur de puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.</p> <p>Utiliser des documents ou des logiciels afin de discuter l'amélioration de cycles industriels : rôle du préchauffage, de la surchauffe, du choix du fluide.</p>
7. Transfert d'énergie par conduction thermique	
Densité de flux thermique.	Définir et algébriser la puissance thermique échangée à travers une interface.
Loi de Fourier.	<p>Lier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son sens.</p> <p>Citer des ordres de grandeur de conductivité thermique dans le domaine de l'habitat.</p>
Bilan enthalpique.	Établir une relation différentielle entre la température et le vecteur densité de flux thermique.
Équation de la chaleur sans terme source.	<p>Établir l'équation de la diffusion thermique.</p> <p>Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène.</p> <p>Lier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion au coefficient de diffusion thermique par une analyse dimensionnelle.</p>
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire.	<p>Définir la résistance thermique.</p> <p>Exploiter l'analogie lors d'un bilan thermique.</p>
Loi de Newton.	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs en régime stationnaire.

2. Électronique

Ce module renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder les notions suivantes :

- la stabilité,
- les oscillateurs,
- la réalisation de filtres actifs.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré ALI (également appelé amplificateur opérationnel) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées. Par ailleurs, des exemples de manifestations des non linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- la conversion analogique numérique.
- l'échantillonnage et le repliement de spectre,
- le filtrage numérique.

Objectifs généraux de formation

Dans le prolongement de la première année, le passage d'une représentation temporelle à une représentation fréquentielle d'un signal est un objectif essentiel de la formation, cette capacité étant renforcée par une pratique abondante de l'analyse spectrale en TP.

Les fonctions de transfert et les diagrammes de Bode nécessaires à la compréhension des systèmes sont systématiquement fournis, l'accent étant mis prioritairement sur la compréhension des fonctions réalisées par des blocs et non par des composants particuliers. L'étude des circuits utilisant un ALI est volontairement limitée à des situations simples dont la compréhension ne nécessite pas l'emploi de technique de résolution sophistiquée.

L'étude expérimentale des systèmes mettant souvent en œuvre des instruments numériques d'acquisition, de mesure, ou de calcul, la formation est complétée par une initiation à l'électronique numérique. Cette ouverture est abordée de manière exclusivement expérimentale afin de sensibiliser les étudiants aux limites introduites par l'échantillonnage et la quantification lors d'une conversion analogique numérique.

Le **bloc 1** s'intéresse aux propriétés des systèmes linéaires déjà abordés en première année. Les capacités relatives au filtrage et à la décomposition harmonique d'un signal périodique sont révisées sans ajout de nouvelles compétences. L'étude est complétée par une analyse de la stabilité des systèmes du premier et du second ordre en examinant le régime transitoire associé à la relation différentielle.

Le **bloc 2** illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'identification de certains montages à des systèmes bouclés permet de faire le lien avec le cours d'automatique de Sciences Industrielles. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est uniquement évoquée en TP afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire du système étudié.

Le **bloc 3** s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies. En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Le **bloc 4** est exclusivement étudié de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année. Le professeur introduira les thèmes proposés au fur et à mesure des besoins et en relation avec les autres sujets d'étude. Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement à l'aide d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction, ce dernier étant réalisé à l'aide d'une feuille de calcul traitant l'acquisition numérique d'une entrée analogique, un CNA restituant ensuite une sortie analogique. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Stabilité des systèmes linéaires	
Fonction de transfert d'un système entrée-sortie linéaire continu et invariant.	Transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (relation différentielle).
Stabilité.	Discuter la stabilité d'un système d'ordre 1 ou 2 d'après les signes des coefficients de la relation différentielle ou de la fonction de transfert.
2. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par des courants de polarisation nuls, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Modéliser un ALI fonctionnant en régime linéaire à l'aide d'un schéma bloc.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Analyser la stabilité du régime linéaire.
Vitesse de balayage.	Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur. Exprimer les impédances d'entrée de ces montages. Expliquer l'intérêt d'une forte impédance d'entrée pour une association en cascade d'étages à faible impédance de sortie.

Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Établir la relation entrée-sortie du comparateur simple. Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie. Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Définir le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de mémoire.
3. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser à partir de l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale. Approche documentaire : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en terme de système bouclé oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Établir la fréquence d'oscillation.
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Réaliser un oscillateur de relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.
4. Électronique numérique	
Échantillonnage. Condition de Nyquist-Shannon. Analyse spectrale numérique.	Décrire le mouvement apparent d'un segment tournant observé avec un stroboscope. Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre dû à l'échantillonnage lors de l'utilisation d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition. Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une d'acquisition numérique afin de respecter la condition de

	Nyquist-Shannon.
Filtrage numérique.	Réaliser un filtrage numérique passe-bas d'une acquisition, et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.

3. Optique

Le programme d'optique de la filière PT s'inscrit dans le prolongement de la partie « Signaux physiques » du programme de PTSI. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, conséquences de la nature ondulatoire de la lumière.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année PTSI, le formalisme utilisé constitue une avancée importante dans la modélisation des phénomènes décrits ; l'enseignant veillera particulièrement à privilégier les aspects expérimentaux et à utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant ne manquera pas non plus de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

L'approche expérimentale sera centrée sur la mise en œuvre des trous d'Young, de l'interféromètre de Michelson compensé (parallélisme compensatrice/séparatrice pré-réglé) et, dans le prolongement du programme de PTSI, de dispositifs d'interférences à N ondes.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes sont développées dans cette partie du programme :

- maîtriser la notion de phase d'une vibration harmonique et de sa variation au cours d'une propagation ;
- associer les caractéristiques géométriques d'un phénomène d'interférences (position et forme des franges, interfrange) à celles des sources et du milieu de propagation ;
- connaître certains ordres de grandeur propres aux phénomènes lumineux dans le domaine du visible (longueur d'onde, durée d'un train d'onde, temps d'intégration d'un capteur) ; faire le lien avec les problèmes de cohérence ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon de lumière, principe du retour inverse, lois de conjugaison) et de l'optique ondulatoire (chemin optique, surface d'onde, théorème de Malus) afin de conduire un calcul de différence de marche entre deux rayons de lumière dans des situations simples ;
- relier, pour le dispositif des trous d'Young, le manque de cohérence des sources à la diminution de la visibilité.

Le **bloc 1** introduit les outils nécessaires. Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Dans le **bloc 3**, les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Dans le **bloc 4**, l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. L'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de

manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Modèle scalaire des ondes lumineuses.	
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques sources de lumière. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour lier la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la source.
Détecteurs. Intensité lumineuse. Facteur de contraste.	Exploiter la propriété qu'un capteur optique quadratique fournit un signal proportionnel à l'énergie lumineuse reçue pendant son temps d'intégration. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques. Mettre en œuvre une expérience utilisant un capteur CCD.
2. Superposition d'ondes lumineuses.	
Superposition d'ondes incohérentes entre elles.	Exploiter l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$.	Vérifier que les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (égalité des pulsations et déphasage constant dans le temps) sont réunies. Établir et exploiter la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Modéliser expérimentalement un spectroscopie à l'aide d'un réseau optique.

	Lier qualitativement le nombre de traits d'un réseau à la largeur des franges brillantes.
3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young.	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie. Ordre d'interférences p .	Exprimer et utiliser l'ordre d'interférences. Décrire et mettre en œuvre une expérience simple d'interférences : trous d'Young ou fentes d'Young. Montrer la non localisation des franges d'interférences.
Variations de l'ordre d'interférences p avec la position du point d'observation. Franges d'interférences. Interfrange.	Interpréter la forme des franges observées.
Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.	Comparer les deux dispositifs en mettant en évidence analogies et différences.
Variations de l'ordre d'interférences p avec la position ou la longueur d'onde de la source ; perte de contraste par élargissement spatial ou spectral de la source.	Utiliser le critère de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ pour interpréter des observations expérimentales.
4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson.	
Interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges.	Citer les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.
Lame d'air : franges d'égale inclinaison.	Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de la longueur d'onde, de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'inclinaison des rayons. Mettre en œuvre un protocole pour accéder à l'ordre de grandeur de la longueur de cohérence d'une raie et à l'écart spectral d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.
Étude expérimentale en coin d'air : franges d'égale épaisseur.	Utiliser l'expression fournie de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférence. Analyser une lame de phase introduite sur un des trajets de interféromètre de Michelson. Interpréter qualitativement le spectre cannelé en lumière blanche.

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la filière PT s'inscrit dans le prolongement des parties « Signaux physiques » et « Induction et forces de Laplace » du programme de PTSI. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et certaines applications dans des domaines variés.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année de PTSI, le formalisme utilisé constitue, bien souvent, pour les étudiants une première découverte ; il convient pour l'enseignant d'être particulièrement attentif aux difficultés potentielles des étudiants et d'utiliser tous les outils de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation.

Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart et la notion de potentiel vecteur ne relèvent pas du programme. Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées, mais doivent être systématiquement fournies en cas de besoin.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un conducteur parfait. La propagation dans les milieux est abordée en se limitant à l'étude d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes sont développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les concepts de champ scalaire et de champ de vecteurs ;
- manipuler les opérateurs vectoriels relatifs aux champs scalaires et vectoriels ;
- citer quelques ordres de grandeur ;
- conduire des analyses de symétrie et d'invariance et calculer des champs à l'aide de propriétés de flux ou de circulation ;
- énoncer des lois de l'électromagnétisme sous formes locale et intégrale et faire le lien entre les deux formulations ;
- conduire des bilans énergétiques mettant en jeu matière et champ électromagnétique ;
- associer au phénomène de propagation un couplage entre les champs, une équation locale et des solutions dans des cas simples ;
- décrire la propagation d'une onde électromagnétique dans le vide et dans un milieu dispersif.

La notion de champ électrostatique a été introduite en classe de première S. Le **bloc 1** constitue un approfondissement des lois quantitatives qui régissent le champ électrostatique. Les notions abordées sont donc centrées sur les distributions de charges, le champ et le potentiel. Pour le champ électrique et le potentiel, on se limite aux expressions explicites dans le cas de charges ponctuelles et sous forme intégrale dans le cas de distributions continues.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss (admis) pour des situations présentant un haut degré de symétrie. Une antisymétrie est la composée d'une symétrie plane et d'une opération de conjugaison de charge.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées.

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme.

Une approche énergétique est conduite dans un cas simple : une charge ponctuelle placée dans un champ électrique extérieur.

Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

L'étude de la magnétostatique menée dans le **bloc 2** s'appuie le plus possible sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de PTSI, les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique. La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le sont uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

On aborde les propriétés intégrales du champ et on utilise le théorème d'Ampère pour des calculs dans des cas présentant un haut degré de symétrie.

Dans le **bloc 3**, une vision cohérente des lois de l'électromagnétisme est présentée. Elle constitue une première approche quantitative du phénomène de propagation et permet également de revenir qualitativement sur l'induction étudiée en première année de PTSI. Le cadre adopté est celui de l'approximation des régimes quasi-stationnaires « magnétiques » où les effets des distributions de courants dominent ceux des distributions de charges.

Les lois locales de l'électrostatique relatives au potentiel constituent un support pertinent pour procéder à une approche numérique de la résolution d'une équation différentielle.

Dans le **bloc 4**, on s'intéresse à l'aspect énergétique de l'électromagnétisme. Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Le **bloc 5**, articulé autour de la propagation des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide de courant et de charge, l'étude des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique permet d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant l'effet de peau.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'approfondir leurs connaissances sur les ondes stationnaires et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace. La notion de densité de courant surfacique est introduite, mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Électrostatique.	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Champ électrostatique créé par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.
Distributions continues de charges : volumique, surfacique, linéique.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ électrostatique par superposition. Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Justifier le choix d'une modélisation d'une distribution de charges par une distribution « infinie ». Évaluer la charge totale d'une distribution continue dans des situations à géométries simples.
Symétries et invariances du champ électrostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.
Circulation du champ électrostatique. Notion de potentiel électrostatique. Opérateur gradient.	Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Connaître l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Calculer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Calculer une différence de potentiel par circulation du champ électrostatique dans les cas simples.
Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.

Cas de la sphère, du cylindre « infini » et du plan « infini ».	<p>Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre « infini » uniformément chargé en volume et par un plan « infini » uniformément chargé en surface.</p> <p>Établir et exploiter le fait qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution.</p>
Étude du condensateur plan comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide.
Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentiels.	<p>Orienter les lignes de champ du champ électrostatique créé par une distribution de charges.</p> <p>Représenter les surfaces équipotentiels connaissant les lignes de champ et inversement.</p> <p>Associer les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ.</p> <p>Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.</p> <p>Approche numérique : représenter des cartes de lignes de champ et d'équipotentiels.</p>
Énergie potentielle électrostatique d'une charge placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
Analogies avec la gravitation.	Utiliser le théorème de Gauss dans le cas de la gravitation.
2. Magnétostatique	
Courant électrique. Vecteur densité de courant volumique. Distributions de courant électrique filiformes.	<p>Calculer l'intensité du courant électrique traversant une surface orientée.</p> <p>Justifier la modélisation d'une distribution de courant par une distribution filiforme.</p>
Champ magnétostatique. Principe de superposition.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ magnétostatique par superposition.
Symétries et invariances du champ magnétostatique.	<p>Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants.</p> <p>Identifier les invariances d'une distribution de courants.</p>

	Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de courants pour caractériser le champ magnétostatique créé.
Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Citer quelques ordres de grandeur de champs magnétostatiques.
Applications au fil rectiligne « infini » de section non nulle et au solénoïde « infini ».	Justifier le choix d'une modélisation d'une distribution de courants par une distribution « infinie ». Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne « infini » de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde « infini » en admettant que le champ est nul à l'extérieur. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ du champ magnétostatique créé par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à l'évolution de la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de ligne de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution. Approche numérique : représenter des cartes de lignes de champ magnétostatique.
3. Équations de Maxwell	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Interpréter qualitativement le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday. Écrire et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Relier qualitativement le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Déduire l'équation locale de la conservation de la charge.

Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Approximation des régimes quasi-stationnaires (ou quasi-permanents) « magnétique ».	Comparer une durée typique d'évolution des sources à une durée de propagation de l'onde électromagnétique.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Approche numérique : mettre en œuvre une méthode de résolution numérique pour déterminer une solution à l'équation de Laplace, les conditions aux limites étant données.
4. Énergie du champ électromagnétique	
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; densité volumique de puissance Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting : bilan d'énergie.	Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, l'équation locale de Poynting étant donnée.
5. Propagation	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
Exemple d'états de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs.	Reconnaître une onde plane polarisée rectilignement. Mettre en évidence une polarisation rectiligne.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.

Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Exploiter la nullité des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Utiliser la méthode de séparation des variables. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.

5. Thermodynamique de la transformation chimique

La transformation de la matière a été abordée dès le début de la classe de PTSI ; le critère d'évolution d'un système chimique en transformation y a été présenté sans être démontré. Ce dernier a été utilisé au travers de l'étude des systèmes chimiques en transformation en solution aqueuse, étude restreinte au cas où une seule réaction modélise la transformation.

Le but de cette partie est double : d'une part aborder les transferts thermiques d'un système engagé dans une transformation chimique, et d'autre part établir et utiliser le critère d'évolution spontané d'un système chimique.

La fonction G et la notion de potentiel chimique ont été introduites dans la partie 1 (thermodynamique et mécanique des fluides). On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale $\mu_i(T, \text{composition}) = \mu_i^\circ(T) + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux expressions des activités vues en première année. L'établissement de cette expression est hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure n'est pas abordée. On se limite aux cas d'une espèce chimique pure, d'une espèce en solution aqueuse très diluée et d'une espèce en mélange de gaz parfaits avec référence à l'état standard.

Les grandeurs standard de réaction sont introduites. On se place systématiquement dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. D'une part, le calcul de ces grandeurs à 298 K à partir de tables de données thermodynamiques rend possible une estimation du transfert thermique d'un système engagé dans une transformation physico-chimique qui peut être confrontée à l'expérience. D'autre part, les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la valeur de la constante thermodynamique K° caractéristique d'une réaction, valeur qui était simplement donnée en première année. C'est ainsi l'occasion de revenir sur la détermination de la composition du système physico-chimique en fin d'évolution.

Le calcul de la variance est l'occasion, pour chaque système étudié, d'identifier méthodiquement les variables intensives et d'en déduire le nombre de degrés de liberté du système ; l'utilisation du théorème de Gibbs ne relève pas du programme.

La notion d'affinité chimique n'est pas utilisée, le sens d'évolution spontanée d'un système hors d'équilibre, à température et pression fixées, est déterminé par le signe de $\Delta_r G$.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. L'étude de tout ou partie d'une unité de synthèse industrielle est conduite à l'aide d'une approche documentaire.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique ;
- distinguer modélisation d'une transformation chimique (réaction chimique et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système (tableau d'avancement, comparaison entre quotient de réaction et constante d'équilibre, état d'équilibre final ou transformation totale) prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- utiliser des tables de données thermodynamiques ;
- confronter des grandeurs calculées avec des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Application du premier principe à la transformation chimique	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément. Loi de Hess.	Calculer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess.
Effets thermiques pour une transformation isobare : <ul style="list-style-type: none"> • transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\circ$) ; • transformation chimique exothermique ou endothermique. 	Prévoir le sens du transfert thermique entre le système en transformation chimique et le milieu extérieur. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique. Mettre en œuvre une démarche expérimentale mettant en jeu des effets thermiques d'une transformation chimique.
2. Application du deuxième principe à la transformation chimique	
Activité.	Donner l'expression du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité.
Enthalpie libre de réaction. Enthalpie libre standard de réaction. Relation entre $\Delta_r G$, $\Delta_r G^\circ$ et Q_r ; évolution d'un système chimique. Entropie standard de réaction. Entropie standard de réaction $\Delta_r S^\circ$.	Relier création d'entropie et enthalpie libre de réaction lors d'une transformation d'un système physico-chimique à p et T fixées. Prévoir le sens d'évolution à p et T fixées d'un système physico-chimique dans un état donné à l'aide de l'enthalpie libre de réaction Déterminer les grandeurs standard de réaction à partir des tables de données thermodynamiques.

	<p>Déterminer les grandeurs standard de réaction d'une réaction dont l'équation est combinaison linéaire d'autres équations de réaction.</p> <p>Interpréter ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p>
Constante d'équilibre ; relation de Van't Hoff.	<p>Établir la relation de Van't Hoff dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre thermodynamique à une température quelconque.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre thermodynamique d'une réaction par combinaison de constantes d'équilibres thermodynamiques d'autres réactions.</p> <p>Mettre une œuvre une démarche expérimentale pour déterminer la valeur d'une constante d'équilibre en solution aqueuse.</p>
État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.	Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.
Variance : degrés de liberté d'un système à l'équilibre.	<p>Reconnaître si une variable intensive est ou non un facteur d'équilibre.</p> <p>Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat.</p>
Optimisation d'un procédé chimique : <ul style="list-style-type: none"> • par modification de la valeur de K° ; • par modification de la valeur du quotient réactionnel. 	<p>Identifier les paramètres d'influence et leur sens d'évolution pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents décrivant une unité de synthèse industrielle, analyser les choix industriels aspects environnementaux inclus.</p>

6. Electrochimie

L'approche adoptée dans cette partie est principalement qualitative, et en dehors de l'étude thermodynamique d'une pile, elle ne requiert aucun formalisme physique ou mathématique.

Les caractéristiques générales des courbes courant-potentiel sont présentées sur différents exemples afin que les étudiants soient capables de proposer l'allure qualitative de courbes à partir d'un ensemble de données cinétiques et thermodynamiques fournies.

Ces courbes sont utilisées pour justifier ou prévoir le fonctionnement de dispositifs mettant en jeu la conversion énergie chimique-énergie électrique ou énergie électrique-énergie chimique, qu'ils soient sièges de réactions d'oxydoréduction spontanées (piles

électrochimiques, piles à combustibles, phénomènes de corrosion humide) ou forcées (électrolyseurs et accumulateurs).

L'ensemble des aspects étudiés donne lieu à des activités expérimentales qui visent à illustrer les phénomènes présentés et à souligner l'intérêt des dispositifs électrochimiques pour la détermination de grandeurs thermodynamiques et électrochimiques.

Les approches documentaires permettent de mettre en évidence la complexité de ces dispositifs de conversion d'énergie, au-delà de l'aspect strictement électrochimique.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- choisir de manière rigoureuse et décrire le système physico-chimique étudié ;
- élaborer qualitativement des outils graphiques à partir d'un ensemble de données ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Approche qualitative de la cinétique électrochimique	
Surtension.	Décrire le montage à trois électrodes permettant de mesurer une surtension.
Allure des courbes intensité-potentiel ou densité de courant-potentiel : <ul style="list-style-type: none"> • systèmes rapides et systèmes lents ; • nature de l'électrode ; • courant limite de diffusion ; • vagues successives ; • domaine d'inertie électrochimique du solvant. 	Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant. Reconnaître le caractère lent ou rapide d'un système à partir des courbes intensité-potentiel. Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion. À partir de relevés expérimentaux, associer l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif et à la surface immergée de l'électrode. Donner l'allure qualitative de branches d'oxydation ou de réduction à partir de données de potentiels standard, concentrations et surtensions. Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant des courbes intensité-potentiel.
2. Phénomènes de corrosion humide	
Transformations spontanées : notion de potentiel mixte.	Positionner un potentiel mixte sur un tracé de courbes intensité-potentiel.
Potentiel de corrosion, intensité de courant de corrosion, densité de courant de corrosion. Corrosion uniforme en milieu acide ou en milieu neutre oxygéné.	Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion uniforme à l'aide de données expérimentales, thermodynamiques et cinétiques. Citer des facteurs aggravants de la corrosion.

Corrosion différentielle par hétérogénéité du support ou du milieu.	Interpréter qualitativement un phénomène de corrosion différentielle faisant intervenir deux métaux à l'aide de courbes intensité-potentiel.
Protection contre la corrosion : <ul style="list-style-type: none"> • revêtement ; • anode sacrificielle ; • protection électrochimique par courant imposé. 	Exploiter des tracés de courbes intensité-potentiel pour expliquer qualitativement : <ul style="list-style-type: none"> • la qualité de la protection par un revêtement métallique ; • le fonctionnement d'une anode sacrificielle. <p>Mettre en œuvre un protocole illustrant les phénomènes de corrosion et de protection.</p>
3. Énergie chimique et énergie électrique : conversion et stockage	
3.1. Conversion d'énergie chimique en énergie électrique	
Approche thermodynamique.	Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique.
	Citer la relation entre la tension à vide d'une pile et l'enthalpie libre de réaction.
	Déterminer la capacité d'une pile en Ah.
Approche cinétique.	Utiliser les courbes intensité-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide.
	Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif électrochimique.
	Mettre en œuvre une démarche expérimentale utilisant des piles.
3.2. Conversion d'énergie électrique en énergie chimique	
Caractère forcé de la transformation. Électrolyseur.	Utiliser les courbes intensité-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'un électrolyseur et prévoir la valeur de la tension de seuil.
Recharge d'un accumulateur.	Utiliser les courbes intensité-potentiel pour justifier les contraintes dans la recharge d'un accumulateur.
	Approche documentaire : à partir de documents sur des accumulateurs (lithium ion, nickel-métal hydrure,...), comparer la constitution, le fonctionnement, et l'efficacité de tels dispositifs.

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de physique chimie de la classe de PTSI. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Polariseur.
- Interféromètre de Michelson motorisé.
- Capteur CCD.

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique avec analyseur de spectre.
- Carte d'acquisition dont l'API est publiée.
- Émetteur et récepteur dans le domaine des ondes centimétriques.

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de PT sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 2 du programme de la classe de PTSI et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » n'a pas fait l'objet d'une rubrique en première année, les expressions des différents opérateurs introduits sont exigibles en coordonnées cartésiennes. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en PTSI et réutilisée en classe de PT. On étend la décomposition d'un signal périodique comme somme de ses harmoniques à l'expression d'un signal non périodique sous forme d'une intégrale (synthèse spectrale) ; aucun résultat n'est exigible. On souligne en revanche la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent sera mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles sont mobilisées principalement dans le cours de thermodynamique ; les fondements feront l'objet d'une étude dans le cadre du chapitre « calcul différentiel » du cours de mathématique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient	<p>Connaître le lien entre le gradient et la différentielle.</p> <p>Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.</p> <p>Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso-f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.</p>
Divergence.	<p>Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski.</p> <p>Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.</p>
Rotationnel.	<p>Citer et utiliser le théorème de Stokes</p> <p>Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.</p>
Laplacien d'un champ scalaire.	<p>Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$.</p> <p>Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.</p>
Laplacien d'un champ de vecteurs.	<p>Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes.</p> <p>Utiliser la formule d'analyse vectorielle : $\mathbf{rot}(\mathbf{rot}\mathbf{A}) = \mathbf{grad}(\text{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A}$.</p>
Cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou à $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide de l'opérateur $i\mathbf{k}$.
2. Analyse de Fourier	
Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier.	<p>Utiliser un développement en série de Fourier fourni.</p> <p>Utiliser un raisonnement par superposition.</p> <p>Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial.</p>
Synthèse spectrale d'un signal non périodique.	<p>Utiliser un raisonnement par superposition.</p> <p>Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial.</p> <p>Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).</p>
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert.	<p>Identifier une équation aux dérivées partielles connue.</p> <p>Transposer une solution fréquemment rencontrée dans un domaine de la physique à un autre domaine.</p>

	Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
4. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée.

Appendice 3 : outils transversaux

La liste ci-dessous explicite un certain nombre d'outils transversaux dont la maîtrise est indispensable au physicien. Leur apprentissage progressif et contextualisé doit amener les étudiants au bout des deux années de CPGE à en faire usage spontanément quel que soit le contexte. S'agissant de l'analyse dimensionnelle, il convient d'éviter tout dogmatisme : en particulier la présentation de la dimension d'une grandeur par le biais de son unité dans le système international est autorisée. S'agissant de la recherche d'une expression par analyse dimensionnelle il ne s'agit en aucun cas d'en faire un exercice de style : en particulier le théorème Pi de Buckingham est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse de pertinence	
Homogénéité d'une expression.	Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs mise en jeu.
Caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs mise en jeu.
Sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre.	Interpréter qualitativement et en faire un test de pertinence.
Limites d'une expression pour des valeurs nulles ou infinies des paramètres.	Tester les limites d'une expression. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Nullité d'une expression.	Repérer l'annulation d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Divergence d'une expression.	Repérer la divergence d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence. Proposer éventuellement des

	éléments non pris en compte dans le modèle susceptibles de brider la divergence (frottements, non linéarités, etc...).
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Calcul numérique.	
Calcul numérique d'une expression.	Calculer sans outil l'ordre de grandeur (puissance de dix) d'une expression simple. Afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données et une unité correcte dans le cas d'un résultat dimensionné. Commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaisons à des valeurs de référence bien choisies, etc.). En faire un test de pertinence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Outils de communication	
Tableaux de données numériques simples.	Transformer un tableau de données numériques en représentation graphique. Renseigner correctement les axes.
Exploitation d'une représentation graphique.	Repérer les comportements intéressants dans le contexte donné : monotonie, extrema, branches infinies, signes. Interpréter le caractère localement rectiligne selon qu'on travaille en échelles linéaire, semi-logarithmique ou log-log.
Schémas et figures.	Transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels. Élaborer une courte synthèse à partir de plusieurs éléments graphiques : tableaux, schémas, courbes...

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Analyse dimensionnelle	
Dimension d'une expression.	Déterminer la dimension d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Recherche d'une expression de type monôme par analyse dimensionnelle.	Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E=A^\alpha B^\beta C^\gamma$ par analyse dimensionnelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Analyse d'ordre de grandeur	
Comparaison en ordre de grandeur des différents termes d'une équation différentielle ou d'une équation aux dérivées partielles.	À partir d'une mise en évidence des échelles pertinentes d'un problème, évaluer et comparer l'ordre de grandeur des différents termes d'une équation afin de la simplifier en conséquence.

PROGRAMME DE PHYSIQUE-CHIMIE TSI

Préambule

Le programme de physique-chimie de TSI s'inscrit dans une double continuité : d'une part avec les nouveaux programmes de terminale des séries technologiques et d'autre part avec l'enseignement dans les grandes écoles. Ce programme a été construit pour faire réussir tous les élèves qui ont été formés dans le cadre du lycée rénové et les amener progressivement au niveau requis pour poursuivre avec succès des études scientifiques et techniques en vue de devenir ingénieur, chercheur ou enseignant et, plus généralement, être à même de se former tout au long de la vie.

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux volets s'enrichissent mutuellement et leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Cela nécessite d'asseoir un socle de connaissances et de capacités dans le domaine de la physique chimie mais aussi de développer des compétences permettant de les mettre en œuvre de manière efficiente. Le programme est construit afin d'atteindre ces deux objectifs.

Le développement des compétences se fera au moyen de la mise en œuvre de modalités pédagogiques favorisant la mise en activité des élèves et s'appuyant sur des composantes de la démarche scientifique : la démarche expérimentale, la résolution de problème et l'analyse documentaire. Elles visent à développer chez l'élève, outre des compétences purement scientifiques, l'autonomie, l'esprit critique, la prise d'initiative, la capacité à acquérir par soi-même de nouvelles connaissances et capacités. Elles permettent aussi à chacun d'être acteur de sa formation et favorisent l'épanouissement des différentes intelligences.

Concernant l'aspect théorique, le socle de connaissances et de capacités scientifiques a été conçu de manière à amener les concepts scientifiques et les outils mathématiques nécessaires à leur modélisation de manière très progressive. La priorité doit être mise sur la modélisation des phénomènes et sur l'analyse des résultats obtenus. La résolution des équations issues des phases de modélisation doit faire appel autant que possible aux outils numériques afin de réduire la part des calculs analytiques dans la résolution des problèmes et, ainsi, de reporter l'attention des étudiants vers les questions de fond (modélisation, analyse des résultats...). Cela permet aussi d'aborder (même modestement) des systèmes plus proches de la réalité en enlevant la contrainte d'obtenir une équation dont la résolution analytique serait accessible à l'étudiant.

Le programme fait une très large place à la démarche expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale. Les activités expérimentales permettent l'acquisition de compétences spécifiques, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées ;
- le second concerne l'identification, tout au long du programme, de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Au regard de ce qui précède, le programme est organisé en trois parties :

- 1 dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problème. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des

- situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée ;
- 2 dans la deuxième partie « **formation expérimentale** » sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
 - 3 dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres :
 - **premier semestre** : la partie « **signaux physiques** » est construite autour de la notion de grandeurs physiques scalaires dépendant du temps et, éventuellement, d'une variable d'espace. Elle aborde différents champs de la physique afin de montrer la transférabilité de certains modèles. La partie « **transformation de la matière** » permet de continuer à installer les outils nécessaires à la description et l'évolution d'un système chimique. La partie « **architecture de la matière** » vient compléter les connaissances acquises par les élèves au lycée.
 - **second semestre** : les grandeurs vectorielles sont introduites dans les parties « **mécanique** » et « **induction** ». La partie « **thermodynamique** » permet l'utilisation de fonctions de plusieurs variables. La partie « **transformations chimiques en solution aqueuse** » a pour objectif principal de permettre à l'élève de reconnaître les principaux types de réactions chimiques en solution, à travers les phénomènes ou dispositifs faisant intervenir des réactions d'oxydo-réduction et d'apprendre à utiliser les diagrammes potentiel-pH.

Les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de première année de TSI sont précisés en appendice.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les élèves. Il ne représente en aucun cas une progression imposée à l'intérieur de chaque semestre. Le professeur doit organiser son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- la mise en activité des élèves : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les élèves seront acteurs de leur formation. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problème permettent cette mise en activité. Le professeur peut mettre en œuvre d'autres activités allant dans le même sens ;
- la mise en contexte des contenus scientifiques : la physique et la chimie se sont développées uniquement afin de répondre à des questions que l'Homme se pose. Ainsi en TSI, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et concepts, se déploiera à partir d'objets technologiques emblématiques du monde contemporain, de procédés simples ou complexes, de phénomènes naturels. Toute démarche purement descendante est à proscrire ;
- **une nécessaire mise en cohérence des différents enseignements scientifiques et technologiques : la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les enseignements de mathématiques et de sciences industrielles.**

Démarche scientifique

Démarche expérimentale

Compétences mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales mises en œuvre dans le cadre d'une démarche scientifique mobilisent les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres composantes du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence.

Compétence	Capacités exigibles associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation - énoncer une problématique - définir des objectifs
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler une hypothèse - proposer une stratégie pour répondre à une problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « Grandeurs et instruments », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler

Démarche scientifique

l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

Résolution de problème

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Capacités exigibles associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue. ...
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées. ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en

Démarche scientifique

	<p>comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus.</p> <p>Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...).</p> <p>Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.</p> <p>...</p>
Communiquer	<p>Présenter la résolution, en expliquant le raisonnement et les résultats.</p> <p>...</p>

Remarques complémentaires

Suivent des possibilités d'articulation entre la résolution de problème et les autres types de compétences développées.

En lien avec les incertitudes :

- évaluer ou déterminer la précision de la solution proposée, notamment lorsqu'il s'agit d'une solution approchée sans la surestimer ni la sous estimer (on a souvent tendance à dire que l'on fait un calcul d'ordre de grandeur alors que l'on a un résultat à 10% près) ;
- déterminer ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat ;

En lien avec l'analyse de documents :

- analyser de manière critique un texte dont l'objet est scientifique ou technique, en mobilisant ses connaissances, notamment sur les valeurs quantitatives annoncées. Être capable de vérifier la cohérence des chiffres proposés en développant un modèle simple ;
- vérifier à l'aide d'un document technique, d'une photographie ... le résultat d'une modélisation.

En lien avec la démarche expérimentale :

- l'approche « résolution de problème » peut se prêter à des activités expérimentales pour lesquelles une tâche précise sera demandée sans que la méthode ne soit donnée. Par exemple : mesurer une quantité physique donnée, comparer deux grandeurs, mettre en évidence un phénomène ... ;
- la vérification d'une modélisation sera effectuée en réalisant l'expérience. Cela peut s'effectuer en prédisant quantitativement l'issue d'une expérience, puis en effectuant les mesures pour vérifier les valeurs prédites.

En lien avec les compétences de « rédaction » :

- rédiger de manière concise et directe une solution qui a souvent été trouvée par un long cheminement.

Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin d'en permettre l'accès en toute autonomie avec la conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné entre la méconnaissance (et donc la découverte) et la maîtrise absolue.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles, relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

Démarche scientifique

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles permettent de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la démarche expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la troisième partie du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie. Elle permet de poursuivre la formation initiée en terminale dans le domaine de la « **mesure et des incertitudes** » et l'acquisition des capacités expérimentales présentées dans la partie « **mesures et savoir-faire** » afin qu'elles soient pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Au laboratoire de chimie, les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet de produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque.

Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure ..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières STI2D et STL du lycée.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Pour assurer le succès de cette formation en filière TSI, il est essentiel que ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées. Dans un souci de contextualisation, on évitera toutes séquences de cours spécifiques. L'informatique fournit aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes (notamment composées) sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des concepts mathématiques sous-jacents.

Notions et contenu	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type. Évaluation d'une incertitude-type.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée. Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).

Formation expérimentale

Incertitude-type composée.	Evaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.
Incertitude élargie.	Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Présentation d'un résultat expérimental.	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.
Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).	Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence. Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.

Mesures et savoir-faire

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut-être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie consacrée à la démarche expérimentale.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures d'angles, de longueurs, de volume et de masse	
Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.
Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Pouvoir évaluer avec précision, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.
Angles : avec un goniomètre.	Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice.

Formation expérimentale

<p>Longueurs d'onde.</p> <p>Volume : avec une pipette, éprouvette, fiole, burette. Verrerie jaugée et graduée.</p> <p>Masse : avec une balance de précision.</p>	<p>Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p> <p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe. Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.</p> <p>Distinguer verrerie in et verrerie ex.</p> <p>Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide ou d'une solution de concentration molaire connue.</p>
<p>2. Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.</p> <p>Analyse spectrale.</p> <p>Décalage temporel, déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.</p>	<p>Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.</p> <p>Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p> <p>Reconnaître une avance ou un retard.</p> <p>Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.</p> <p>Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.</p>
<p>3. Électricité</p> <p>Mesurer une tension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. <p>Mesurer un courant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. <p>Mesurer une résistance ou une impédance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe à l'ohmmètre ou au capacimètre ; - mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension. 	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...).

Formation expérimentale

<p>Caractériser un dipôle quelconque.</p> <p>Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.</p> <p>Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - amplification, filtrage ; - sommation. 	<p>Tracer la caractéristique statique d'un capteur.</p> <p>Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.</p> <p>Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison masse.</p> <p>Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.</p> <p>Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.</p>
<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée.</p> <p>Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.</p> <p>Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser un spectre à l'aide d'un spectromètre.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une vitesse, une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie.</p> <p>Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre, un capteur de force.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>
<p>7. Chimie</p>	

Formation expérimentale

Méthode conductimétrique.	Suivre un titrage par conductimétrie. Repérer l'équivalence et l'exploiter pour le calcul de la valeur d'une concentration.
Méthode pH-métrique.	Suivre un titrage par pH-métrie. Repérer l'équivalence et l'exploiter pour le calcul de la valeur d'une concentration. Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre.
Indicateurs colorés.	Effectuer un titrage en utilisant un indicateur de fin de réaction.
Méthode potentiométrique.	Suivre un titrage par potentiométrie à intensité nulle. Exploiter la courbe de titrage pour le calcul des potentiels standard.
Cinétique chimique.	Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE**Signaux physiques****Présentation**

Cette partie constitue le programme de physique du premier semestre. Elle est construite autour du signal physique, et du caractère central qu'occupe le signal sinusoïdal dans l'étude des systèmes linéaires. Dans le cycle terminal du lycée, les principales grandeurs physiques associées aux phénomènes physiques ont été introduites. Une approche énergétique a été mise en œuvre permettant ainsi d'installer le principe de conservation de l'énergie. Il convient maintenant de familiariser les élèves avec la modélisation de systèmes dont les grandeurs physiques varient de manière temporelle ou spatiale en se limitant dans cette partie aux grandeurs scalaires.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques.

Dans la **partie 1** consacrée à la propagation, il est indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale et sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation physique des signaux qui se propagent et leurs représentations spatiales et temporelles, sans qu'aucune référence soit faite ici à une expression mathématique du signal. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultant obtenu. L'approche de la diffraction est purement descriptive et expérimentale, et envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

La **partie 2** portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme seuls objectifs de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

La **partie 3** présente l'aspect corpusculaire de la lumière, son interaction avec la matière et les conséquences de la théorie des quanta sur le fonctionnement d'une diode électroluminescente ou d'une cellule photovoltaïque. On évitera tout développement théorique ; ainsi, on admettra l'existence de deux bandes d'énergie dans un semi-conducteur, la bande de conduction et la bande de valence, séparées par une bande interdite inaccessible aux électrons. On pourra profiter de l'occasion pour faire un peu d'histoire des sciences et pour sensibiliser les élèves aux limites d'une théorie : évoquer le problème de la stabilité des atomes dans le modèle de Bohr, les spectres de raies des lampes spectrales, le rayonnement du corps noir, l'effet photoélectrique ... autant de questionnements qui ont conduit à l'émergence d'une nouvelle physique à l'origine des révolutions technologiques du 20^{ème} et du 21^{ème} siècle.

La **partie 4** pose les bases nécessaires pour l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). Compte tenu du peu de connaissances acquises au lycée dans ce domaine, le choix a été fait de se concentrer sur les dipôles R, L et C. Bien entendu, les travaux pratiques peuvent faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs linéaires intégrés ALI, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, capteurs...) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Les **parties 5 et 6** abordent l'étude des systèmes linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et l'exploitation de tels outils pour analyser l'évolution des signaux dans un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance a priori de catalogues de filtres, même s'il va de soi que le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple d'un filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie d'après le spectre du signal d'entrée. L'étude de régimes libres à partir d'un portrait de

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

phases est une première introduction à l'utilisation de tels outils qui seront enrichis dans le cours de mécanique pour aborder la physique non linéaire.

La présentation de la partie mécanique de la partie 6 doit, dans mesure du possible, s'appuyer sur des systèmes réels et concrets choisis par le professeur. Par exemple, on peut envisager d'étudier une suspension de voiture: la modélisation porterait tout d'abord sur le ressort seul (6-1), mettant ainsi en évidence la nécessité d'intégrer un système de dissipation de l'énergie cinétique amortissant les oscillations du véhicule (6-2). Le système global permet de filtrer les irrégularités de la chaussée (6-3). On privilégiera l'utilisation de l'outil numérique.

La fonction filtrage est présentée en physique. En SII, l'opération de filtrage se limite à une approche par gabarit et les filtres seront mis en œuvre dans le contexte de la mesure sur un système.

Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des compétences reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans la modélisation de l'évolution temporelle d'un système ;
- comprendre sa traduction dans un portrait de phases ;
- relier linéarité et superposition ;
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- interpréter physiquement et distinguer les représentations spatiales et temporelles d'un signal qui se propage ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul.

Il importe toutefois de réaliser qu'à l'issue de cette partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises, et qu'il convient d'y revenir à chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques. Connaître quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité	Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

spatiale et temporelle.	Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes. Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
Diffraction à l'infini.	Utiliser la relation $\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture. Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.
2. Optique géométrique	
Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Établir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes uniquement). Mettre en oeuvre expérimentalement à l'aide de deux lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.
L'œil.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
L'appareil photographique numérique.	Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image et le rôle du capteur sur la qualité de cette

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

	image.
3. Aspect corpusculaire de la lumière	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Énergie d'un photon et d'un flux de photons.	Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Quantifier l'énergie reçue par une cellule photovoltaïque. Exploiter des données techniques de performances d'une diode électroluminescente (efficacité énergétique, durée de vie, température de couleur, IRC ...).
4. Circuits électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Exprimer une charge électrique sous forme quantifiée. Distinguer la nature des différents porteurs de charges et les origines du courant électrique. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et connaître les conventions récepteur et générateur. Connaître les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application. Citer les relations entre l'intensité et la tension et les ordres de grandeurs pour les composants R, L, C. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
Puissance.	Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou dans une bobine.
Association de deux résistances	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. Extraire les grandeurs d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

	fonctionnement d'un circuit.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement	Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental
5. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	<p>Réaliser, pour un circuit, l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</p> <p>Distinguer sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Utiliser un modèle équivalent aux dipôles pour déterminer les grandeurs électriques en régime permanent.</p> <p>Interpréter et utiliser les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Établir la relation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution du système avant toute résolution de l'équation différentielle.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.
6. Comportement dynamique d'un système au voisinage d'une position d'équilibre stable. Réponse à une excitation	
6-1. Oscillation harmonique Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	<p>Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique.</p> <p>Exprimer la solution compte tenu des conditions initiales.</p> <p>Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Tracer le portrait de phase.</p> <p>Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.</p> <p>Déterminer, en s'appuyant uniquement sur des arguments physiques et une analyse dimensionnelle, la position d'équilibre et le mouvement d'une masse fixée à un ressort vertical.</p>
6-2. Oscillateurs amortis Circuit RLC série et oscillateur	Mettre en évidence la similitude des comportements des

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

<p>mécanique amorti par frottement visqueux.</p> <p>Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes. Association de deux impédances. Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.</p>	<p>oscillateurs mécanique et électronique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système en utilisant un portrait de phase fourni.</p> <p>Écrire sous forme canonique la relation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Connaître la nature de la réponse en fonction du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.</p> <p>Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.</p> <p>A l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.</p> <p>Relier l'acuité d'une résonance au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p>
<p>6.3. Filtrage linéaire Signaux périodiques.</p> <p>Gabarit d'un filtre. Fréquences de coupure.</p> <p>Fonction de transfert harmonique. Diagrammes de Bode.</p>	<p>Exploiter le spectre d'un signal périodique ; déterminer la composante continue, le fondamental et les harmoniques.</p> <p>Définir la valeur moyenne et la valeur efficace.</p> <p>Reconnaître les gabarits des filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande.</p> <p>Déterminer qualitativement le spectre du signal de sortie d'un filtre, le spectre du signal d'entrée et le gabarit ou le diagramme de Bode du filtre étant donnés.</p> <p>Prévoir le comportement d'un filtre en hautes et basses</p>

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

<p>Modèles simples de filtres passifs: passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.</p>	<p>fréquences.</p> <p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant la fonction de filtrage d'un système linéaire.</p> <p>Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.</p> <p>Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètres, amortisseurs, accéléromètre...).</p> <p>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.</p>
---	--

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE**Transformation de la matière**

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation. Afin d'approcher la chimie par un angle macroscopique, ce sont les espèces chimiques et les transformations de la matière qui seront abordées en premier lieu. Les exemples choisis seront nombreux afin d'illustrer la variété de domaines concernés par cette discipline. L'approche expérimentale sera privilégiée.

Dans un premier temps, les outils nécessaires à la description et l'évolution d'un système chimique seront présentés. On se limite alors à un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique symbolisée par une équation chimique à laquelle est associée une constante d'équilibre thermodynamique. Sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel, on prévoit le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et on en détermine la composition à l'état final. Les capacités travaillées au premier semestre seront réinvesties au second semestre, dans le cas particulier des transformations chimiques en solution aqueuse. Cette partie du programme permet ainsi de rappeler et de réinvestir les acquis du lycée concernant les transformations acido-basiques et d'oxydo-réduction.

Dans un deuxième temps, l'évolution temporelle des systèmes chimiques sera étudiée. Cette partie va permettre d'accéder à la vitesse de la réaction chimique étudiée d'abord dans le cas d'un réacteur fermé parfaitement agité. L'approche expérimentale permettra de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de la loi de vitesse. La notion d'ordre émergera du suivi temporel d'une transformation chimique. D'un point de vue expérimental, il pourra s'agir de la mesure de l'absorbance ou de la conductivité du milieu réactionnel. L'outil informatique sera mis à profit pour établir la loi cinétique à partir de ce suivi.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. La transformation de la matière	
Transformations de la matière. Transformations physique, chimique, nucléaire.	Reconnaître la nature d'une transformation.
Transformations physiques. États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Notion de phase.	Reconnaître une transformation allotropique.
Système physico-chimique. Constituants physico-chimiques.	Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. Utiliser de manière précise le vocabulaire : élément, corps simple, corps composé, corps pur, espèce chimique. Déterminer la masse molaire d'une espèce chimique.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

Mole, masse molaire. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système physico-chimique.	Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique. Réaction chimique : équation de réaction, avancement, constante thermodynamique d'équilibre.	Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque.
Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une réaction chimique unique: activité, quotient réactionnel, critère d'évolution.	Déterminer une constante d'équilibre. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélange de gaz parfaits. Exprimer le quotient réactionnel. Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.
Composition chimique du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.	Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.
2. Évolution temporelle des systèmes chimiques	
<i>Dans le cas d'un réacteur fermé de composition uniforme :</i> - vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit ; - vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.	Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique. Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.
<i>Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.</i> Temps de demi-réaction.	Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique. Exprimer la loi de vitesse quand la réaction chimique admet un ordre et déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. Évaluer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction.

Architecture de la matière

Depuis la classe de seconde, les élèves ont appréhendé différentes notions relatives à l'architecture de la matière. L'objectif de cette partie est de compléter ces connaissances. Pour cela, l'étude est centrée sur la classification périodique des éléments, outil important du chimiste ; le programme vise à développer les capacités relatives à son utilisation : extraction des informations qui y sont contenues, prévisions de réactivité des corps simples, prévision de la nature de la liaison chimique dans les corps composés...

CONTENUS DISCIPLINAIRES : PREMIER SEMESTRE

La quantification des niveaux d'énergie et l'introduction des nombres quantiques seront l'occasion pour le professeur de faire le lien avec le bloc « modèle corpusculaire de la lumière » de la partie « Signaux physiques » du programme de physique.

L'objectif de la deuxième partie est de proposer une représentation simple d'entités chimiques moléculaires à l'aide du modèle de Lewis. On ne l'applique qu'à des structures contenant les éléments C, H, O et N. On pourra montrer, sur quelques exemples, les limites du modèle de Lewis. Quelques notions sur les cristaux parfaits terminent cette partie. Aucun calcul de cristallographie n'est au programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Classification périodique des éléments	
Atomes et éléments. Electrons, protons, neutrons	Donner la composition d'un élément à partir de A et Z.
Le noyau : nombres Z, A, isotopes.	Comparer les ordres de grandeur de la dimension d'un atome à celle de son noyau. Estimer l'ordre de grandeur de la masse d'un atome.
Nombres quantiques n , l , m_l et m_s .	Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électronique d'un atome donné.
Configuration électronique d'un atome et d'un ion monoatomique. Électrons de cœur et de valence	Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément.
Classification périodique des éléments.	Relier la position d'un élément dans le tableau périodique à la configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant. Positionner et reconnaître dans le tableau périodique métaux et non métaux. Situer dans le tableau les familles suivantes et énoncer leurs caractéristiques : métaux alcalins halogènes et gaz nobles.
2. Molécules et cristaux	
Description des entités chimiques moléculaires. Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique constitué des éléments C, H, O et N. Liaison covalente localisée (modèle limite).	Utiliser la règle de l'octet et du duet.
Modèle du cristal parfait. Exemples de cristaux métalliques, ioniques et covalents.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Sur des mailles simples, reconnaître la formule chimique qui représente le solide. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE**Mécanique****Présentation**

Après la partie « signaux physiques » du programme où on ne s'intéresse qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace ou de temps, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace.

Le programme de mécanique s'inscrit dans le prolongement du programme du cycle terminal des séries technologiques qui privilégie une approche énergétique. L'objectif majeur est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (loi de l'inertie, principe fondamental de la dynamique, loi du moment cinétique, loi de l'énergie cinétique, loi des actions réciproques). On se limite à l'étude de la mécanique dans un référentiel galiléen.

La **partie 1** donne des éléments de cinématique du point (les exemples étant limités aux mouvements plans) et de cinématique du solide (limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe). Il convient de construire les outils sans formalisme excessif en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours et d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction des systèmes de repérage est illustrée par le mouvement à accélération constante pour le cas du repérage cartésien et par le cas du mouvement circulaire pour le repérage polaire. Il importe d'être conscient que la géométrie est peu étudiée dans les cours de mathématiques : à cet égard la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue mais tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement par le fait que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation : la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible même s'il est recommandé d'en parler pour que les élèves puissent faire le lien avec le cours de SII.

La **partie 2** introduit les bases de la mécanique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations qu'on aurait simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Il est au contraire nécessaire d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels d'intégration numérique...) qui permettent de traiter des problèmes réels dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...). Le programme insiste sur le portrait de phase considéré comme un regard complémentaire sur les équations différentielles. Les portraits de phase ne doivent pas donner lieu à des débordements calculatoires : leur construction explicite est donc limitée au cas des oscillations harmoniques au voisinage d'une position d'équilibre. En revanche les étudiants devront savoir interpréter un portrait de phase plus complexe qui leur serait fourni ou qu'ils auraient obtenu à l'aide d'un logiciel ou expérimentalement. Cette partie trouvera son prolongement en SII lors du troisième semestre de formation.

Dans la **partie 3**, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue. Il est essentiel de faire le lien avec le cours de SII et de bien faire comprendre aux élèves que dans le cas particulier d'un solide en mouvement autour d'un axe fixe, une équation scalaire est suffisante pour caractériser le mouvement.

Objectifs généraux de formation

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

La mécanique doit contribuer par-ailleurs plus particulièrement à développer des compétences transversales suivantes.

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées ;
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires) ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour confronter les informations qu'ils fournissent sur la ou les équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème ;
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux petits angles et système masse-ressort ;
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces...) ;
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soit pleinement développé, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations modélisées à l'extrême (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Éléments de cinématique	
1.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques.	Utiliser les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et polaires. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Mouvement rectiligne à accélération constante.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Mouvement courbe de vecteur-accélération constant.	Prévoir qualitativement les mouvements projetés sur des axes parallèle et perpendiculaire au vecteur accélération.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers.	
Définition d'un solide.	Distinguer un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
2. Mécanique newtonienne	
2.1 Principe fondamental de la dynamique	
Notions sur les quatre interactions fondamentales.	Distinguer les interactions de portée illimitée de celles dont la portée est limitée à la dimension du noyau atomique.
Forces. Loi des actions réciproques.	Utiliser les forces usuelles (en particulier : poids, force de rappel d'un ressort, tension d'un fil, forces de frottements fluide et solide, poussée d'Archimède) Établir un bilan des forces et en rendre compte sur une figure.
Quantité de mouvement d'un point matériel	Utiliser l'expression de la quantité de mouvement d'un point matériel.
Référentiel galiléen. Loi de l'inertie.	Définir le mouvement relatif d'un référentiel galiléen par rapport à un autre référentiel galiléen.
Quantité de mouvement d'un point. Principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un solide.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.
Influence de la résistance de l'air.	Prendre en compte par une approche numérique des frottements fluides pour modéliser une situation réelle. Exploiter numériquement une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation d'un logiciel d'intégration numérique. Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	<p>Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.</p> <p>Établir l'équation du portrait de phase (intégrale première) dans ce cadre et le tracer.</p>
Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	<p>Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.</p> <p>Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de mesurer un coefficient de frottement solide.</p>
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel.	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaitre le caractère moteur ou résistant d'une force.
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.
Energie potentielle. Énergie mécanique.	Utiliser les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.
Mouvement conservatif. Mouvement conservatif à une dimension.	<p>Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaitre les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.</p> <p>Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.</p>
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.
3. Mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe	
Moment cinétique scalaire d'un solide en rotation autour d'un axe. Moment d'inertie.	<p>Utiliser la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni.</p> <p>Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.</p>
Moment d'une force par rapport à un axe orienté. Couple. Liaison pivot.	<p>Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté.</p> <p>Définir un couple de forces, le moment d'un couple.</p> <p>Définir une liaison pivot et justifier la valeur du moment. Faire le lien avec les torseurs d'actions vus en SII, distinguer moment et résultante.</p>
Loi scalaire du moment cinétique appliquée au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	Déterminer l'équation du mouvement, le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation étant donné.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement. Lire et interpréter le portrait de phase : bifurcation entre un mouvement pendulaire et un mouvement révolutif. Utiliser un logiciel d'intégration numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations. Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique du pendule.
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique, le moment d'inertie étant fourni.
Loi de l'énergie cinétique.	Constater l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE**Induction et conversion électromécanique****Présentation**

Cette partie est nouvelle pour les étudiants pour lesquels seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de terminale dans les séries technologiques. Elle a pour objectif d'installer les concepts de base permettant de modéliser les phénomènes de conversion électromagnétique. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. On se limitera aux structures ne comportant pas de matériaux magnétiques. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, dans la géométrie des rails de Laplace.

L'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

La **partie 1 « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de terminale et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur.

Dans la **partie 2 « Forces de Laplace »**, la force de Laplace est introduite sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme.

La **partie 3 « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue qu'on peut avoir sur le même phénomène selon le référentiel où on se place.

La **partie 4 « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur parfait et propose une approche documentaire de la production et du transport de l'énergie électrique. En SII les transformateurs pourront être utilisés dans le cadre de l'étude de systèmes en faisant référence au cours de physique.

La **partie 5 « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** présente des systèmes simples de conversion de puissance.

Enfin, la **partie 6 « Convertisseurs électromécaniques »** présente les convertisseurs de puissance les plus courants. Les principes de fonctionnement sont expliqués qualitativement et l'étude se focalise sur le transfert d'énergie et son caractère réversible. Cette partie doit mettre en évidence la limitation en puissance des dispositifs n'utilisant pas de matériaux magnétiques et les limites du modèle de la force de Laplace.

Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique sur un circuit parcouru par un courant ou, par analogie, sur un aimant ;
- utiliser la notion de moment magnétique ;
- évaluer des ordres de grandeur ;

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs ;
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Identifier l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.
2. Forces de Laplace	
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue	Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de cotés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.
Création d'un mouvement circulaire	Mettre en mouvement de rotation une aiguille aimantée grâce au champ magnétique créé par plusieurs bobines.
3. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique.	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday.	
Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modération de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction. Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
Cas de deux bobines en interaction. Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	axe de grande longueur en « influence totale », le champ magnétique créé par une bobine étant donné.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
Transformateur de tension parfait.	Établir la loi des tensions.
Production et transport de l'énergie électrique.	Approche documentaire : <ul style="list-style-type: none"> • mobiliser les connaissances acquises pour expliquer le principe d'une chaîne de production et de transport d'énergie électrique. • connaître des ordres de grandeur de la puissance consommée ou produite par une lampe, un téléviseur, un radiateur électrique, une éolienne, un barrage, une centrale nucléaire.
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique. Rail de Laplace.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique.
Freinage par induction.	Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique. Haut-parleur électrodynamique.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique. Utiliser la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique.
Moteur à courant continu à entrefer plan.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à entrefer plan en utilisant les forces de Laplace.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

6. Convertisseurs électromécaniques	
Moteur à courant continu, machine synchrone, machine asynchrone.	Décrire qualitativement les principes des machines. Expliquer les avantages et inconvénients des différentes machines et donner des exemples d'utilisation. Effectuer un bilan énergétique.
Pilotage des moteurs.	Modifier le fonctionnement des moteurs (vitesse ou couple) en agissant sur certains paramètres électriques.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE**Thermodynamique****Présentation**

Dans le cycle terminal de la filière technologique du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température via la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les étudiants ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et les deux types de transfert énergétique, le travail et le transfert thermique.

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant de d'aborder des applications concrètes et motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux permettant ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

Le cours de thermodynamique de première année prépare à l'application des principes aux machines thermiques avec écoulement stationnaire développées en deuxième année. C'est dans ce cadre, qu'une approche documentaire (principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire) est proposée à la fin du cours et dont l'objet est de faire le lien avec les applications industrielles de la thermodynamique abordées en deuxième année.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique comme une initiation à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique et macroscopique.	Citer l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro.
Système thermodynamique.	Définir si un système est ouvert, fermé, isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression: variables d'état, fonctions d'état, équation d'état. Exemples d'un gaz réel aux faibles pressions et d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable. Grandeur extensive, grandeur intensive.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat. Utiliser l'équation d'état des gaz parfait, l'interpréter à l'échelle microscopique. Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.
Énergie interne d'un système d'un gaz parfait monoatomique. Extension qualitative aux gaz parfaits polyatomiques. Capacité thermique C_v d'un gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Utiliser $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique C_v d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Utiliser $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), titre.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression. Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v). Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système. Utiliser le vocabulaire usuel : transformations isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare.
Travail des forces de pression. Transformations isochore,	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

monobare.	variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat. Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q . Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU .
Enthalpie d'un système. Capacité thermique C_p dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait-à partir de l'énergie interne. Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T . Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare. Mettre en œuvre un protocole de mesure d'une capacité thermique. Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à un changement de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases. Mettre en œuvre un protocole de mesure d'une enthalpie de transition de phases.
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i/T_i$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Variation d'entropie d'un	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

<p>système.</p> <p>Loi de Laplace.</p> <p>Cas particulier d'une transition de phase</p>	<p>Utiliser la loi de Laplace après avoir rappelé ses conditions d'application.</p> <p>Exploiter l'extensivité de l'entropie.</p> <p>Utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$</p>
5. Machines thermiques	
<p>Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes: rendement, efficacité, théorème de Carnot.</p>	<p>Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.</p> <p>Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour d'une évolution thermodynamique, et confronter modélisation et évolutions réelles.</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.</p> <p>Approche documentaire : Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.</p>

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE**Transformations chimiques en solution aqueuse**

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) reposent sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

Cette partie du cours a pour objectif principal de permettre à l'élève de reconnaître les principaux types de réactions chimiques en solution, à travers notamment les phénomènes ou dispositifs faisant intervenir une ou des réactions d'oxydo-réduction.

Elle débute par l'oxydo-réduction : les notions de couples redox et de piles, rencontrées dans le secondaire, sont reprises. Cette étude est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard. Une fois la constante thermodynamique déterminée, les capacités acquises au premier semestre dans la partie « transformations de la matière » peuvent être réinvesties pour la détermination de l'état final du système chimique.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces redox effectivement présentes, les notions d'acido-basicité (rencontrées dans le secondaire) sont rappelées. Ensuite, les phénomènes de précipitation et de dissolution de solides sont abordés, la condition de saturation d'une solution aqueuse est précisée.

Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction accompagnera au besoin la donnée de la constante thermodynamique correspondante.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique (la réaction prépondérante est fournie).

Une fois les outils mis en place, le principe de construction des diagrammes potentiel-pH est présenté sur l'exemple de l'élément fer mais l'objectif principal en 1^{ère} année est l'interprétation et l'utilisation de ce diagramme. Cette première approche sera réinvestie en 2^{ème} année dans l'utilisation d'autres diagrammes.

L'ensemble des séances de travaux pratiques concernant les transformations en solution aqueuse permettra d'aborder globalement ou spécifiquement les capacités relevant d'une démarche expérimentale mentionnées dans le programme. On notera que les dosages par titrage seront présentés au travers de ces séances de travail expérimental qui permettront d'insister sur la qualité de la mesure.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Oxydo-réduction	
Oxydants et réducteurs <ul style="list-style-type: none"> - nombre d'oxydation ; - potentiel d'électrode, formule de Nernst ; - diagrammes de prédominance ou d'existence. 	<ul style="list-style-type: none"> Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Déterminer la capacité d'une pile. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

Réactions d'oxydo-réduction <ul style="list-style-type: none"> - aspect thermodynamique ; - dismutation et médimutation. 	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.
2. Acido-basicité, précipitation	
Réactions acido-basiques <ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance. Réactions de dissolution ou de précipitation <ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence - facteurs influençant la solubilité. Traitement des effluents dans une usine chimique.	Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses Extraire de ressources disponibles les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes d'équilibre sont connues. Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution. Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Exploiter des courbes de solubilité en fonction d'une variable pertinente. Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide. Pratiquer une démarche expérimentale illustrant la dissolution ou la précipitation en solution aqueuse. Approche documentaire : à partir de documents décrivant le traitement des effluents d'une usine chimique, dégager les notions de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, de valeurs limites acceptables et les transformations mises en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.
3. Diagrammes potentiel-pH de l'eau et du fer	
Principe de construction, lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH de l'eau et du fer.	Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans le diagramme potentiel-pH du fer. Justifier la position d'une frontière verticale. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition des deux diagrammes ; en déduire la stabilité des espèces dans l'eau.

CONTENUS DISCIPLINAIRES : SECOND SEMESTRE

	<p>Confronter les prévisions à des données expérimentales (mise en évidence du facteur cinétique).</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur un diagramme potentiel-pH.</p>
--	---

APPENDICE : outils mathématiques

Au niveau des classes préparatoires, le rôle structurant des outils fournis par les mathématiques est incontournable en physique et en chimie, mais il convient d'éviter les dérives formelles ou calculatoires : le recours au calcul analytique doit être limité aux cas les plus simples et on utilisera des outils de calcul numérique ou formel dans tous les autres cas, y compris dans certains cas où des calculs analytiques seraient a priori possibles mais en réalité hors de portée des étudiants du fait de leur longueur ou de leur technicité.

Afin de cibler au mieux la formation et l'évaluation, cet appendice liste les outils mathématiques dont une bonne maîtrise est indispensable pour que les objectifs de formation des programmes de physique et de chimie puissent être pleinement atteints. Le niveau d'exigence requis est systématiquement précisé pour chaque outil afin d'éviter toute dérive.

L'apprentissage de ces outils doit être réparti sur l'année en fonction de l'avancement des cours en ayant un souci permanent de contextualisation. Ceci suppose notamment une concertation au sein de l'équipe pédagogique.

Pour le cas où d'autres outils seraient ponctuellement nécessaires, il conviendrait de les mettre à disposition des candidats sous une forme opérationnelle (formulaire...) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

OUTILS	NIVEAU D'EXIGENCE
1. Équations algébriques	
Système linéaire de n équations à p inconnues	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier un nombre minimal d'inconnues, confronter au nombre d'équations indépendantes disponibles, • Exprimer la dépendance dans le seul cas $n=p=2$. • Résoudre analytiquement dans le seul cas $n=p=2$. • Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas.
Équation non linéaire	<ul style="list-style-type: none"> • Discuter graphiquement dans le cas où l'équation se présente sous la forme $f(x)=g(x)$ de l'égalité de deux fonctions f et g classiques. • Résoudre dans le cas général à l'aide d'un outil numérique.
2. Équations différentielles	
Equation différentielle linéaire du premier et du second ordre à coefficients constants	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier l'ordre, expliciter les conditions initiales. • Exploiter le polynôme caractéristique. • Prévoir le caractère borné ou non des solutions de l'équation homogène (critère de stabilité). • Mettre une équation sous forme canonique. Tracer numériquement l'allure du graphe des solutions en tenant compte des conditions initiales (CI). • Résoudre analytiquement (solution complète) dans le seul cas d'une équation du premier ordre et d'un second membre constant. • Obtenir analytiquement (notation complexe) le seul régime sinusoïdal forcé dans le cas d'un second membre sinusoïdal.
Équation quelconque.	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer numériquement avec un outil fourni.

APPENDICE : outils mathématiques

3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	<ul style="list-style-type: none"> Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, $x \rightarrow x^2$, $x \rightarrow 1/x$, $x \rightarrow \sqrt{x}$.
Dérivée.	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter géométriquement la dérivée. Dériver une fonction composée.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos, \sin, \cos^2 et \sin^2.
Représentation graphique d'une fonction.	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance en échelle log-log.
Développements limités	<ul style="list-style-type: none"> Connaître et utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités usuels au voisinage de 0 jusqu'au premier ordre non nul : $(1+x)^n$, exponentielle, sinus, cosinus, $\ln(1+x)$.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> via un formulaire.
4. Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées	<ul style="list-style-type: none"> Exprimer algébriquement les coordonnées d'un vecteur. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes et cylindriques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression fonction des coordonnées sur une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression fonction des coordonnées. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.
Transformations géométriques	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	<ul style="list-style-type: none"> Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite et d'un

APPENDICE : outils mathématiques

Courbes planes paramétrées.	<p>cercle.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r(\varphi)$. • Reconnaître les équations paramétriques $x = a\cos(\omega t)$ et $y = b\cos(\omega t - \varphi)$ d'une ellipse et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$. • Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur.
Longueurs, aires et volumes classiques	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les expressions du périmètre du cercle, de l'aire du disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.
5. Trigonométrie	
Angle orienté	<ul style="list-style-type: none"> • Définir une convention d'orientation des angles dans un plan et lire des angles orientés. • Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions trigonométriques cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques, parités, valeurs des fonctions pour les angles usuels. • Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument.

PROGRAMME DE PHYSIQUE-CHIMIE TSI de deuxième année

Préambule

Le programme de physique-chimie de deuxième année de TSI s'inscrit dans la continuité du programme de première année. Ce programme a été construit pour faire réussir tous les élèves qui ont été formés dans le cadre du lycée rénové et les amener progressivement au niveau requis pour poursuivre avec succès des études scientifiques et techniques en vue de devenir ingénieur, chercheur ou enseignant et, plus généralement, être à même de se former tout au long de la vie.

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux volets s'enrichissent mutuellement et leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Cela nécessite d'asseoir un socle de connaissances et de capacités dans le domaine de la physique chimie mais aussi de développer des compétences permettant de les mettre en œuvre de manière efficiente. Le programme est construit afin d'atteindre ces deux objectifs.

Dans la continuité du programme de première année, le développement des compétences se poursuit au moyen de la mise en œuvre de modalités pédagogiques favorisant la mise en activité des élèves et s'appuyant sur des composantes de la démarche scientifique : la démarche expérimentale, la résolution de problème et l'analyse documentaire. Elles visent la poursuite du développement chez l'élève, outre des compétences purement scientifiques, l'autonomie, l'esprit critique, la prise d'initiative, la capacité à acquérir par soi-même de nouvelles connaissances et capacités. Elles permettent aussi à chacun d'être acteur de sa formation et favorisent l'épanouissement des différentes intelligences.

Concernant l'aspect théorique, le socle de connaissances et de capacités scientifiques du programme de seconde année vient compléter celui de première année tout en s'appuyant sur celui-ci. La priorité doit toujours être mise sur la modélisation des phénomènes et sur l'analyse des résultats obtenus. La résolution des équations issues des phases de modélisation doit faire appel autant que possible aux outils numériques afin de réduire la part des calculs analytiques dans la résolution des problèmes et, ainsi, de reporter l'attention des étudiants vers les questions de fond (modélisation, analyse des résultats...). Cela permet aussi d'aborder (même modestement) des systèmes plus proches de la réalité en enlevant la contrainte d'obtenir une équation dont la résolution analytique serait accessible à l'étudiant.

Le programme fait toujours une très large place à la démarche expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale. Les activités expérimentales permettent l'acquisition de compétences spécifiques, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées ;
- le second concerne l'identification, tout au long du programme, de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Au regard de ce qui précède, le programme est organisé en trois parties :

- dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problème. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée ;
- dans la deuxième partie « **formation expérimentale** » sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
- dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est constituée de cinq parties : thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques, électronique, optique, électromagnétisme, chimie.

Les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en deuxième année de TSI sont précisés en appendice. Ils viennent s'ajouter aux outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les élèves. Il ne représente en aucun cas une progression imposée à l'intérieur de chaque semestre. Le professeur doit organiser son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

1. la mise en activité des élèves : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les élèves seront acteurs de leur formation. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problème permettent cette mise en activité. Le professeur peut mettre en œuvre d'autres activités allant dans le même sens ;
2. la mise en contexte des contenus scientifiques : la physique et la chimie se sont développées uniquement afin de répondre à des questions que l'Homme se pose. Ainsi en TSI, le questionnement scientifique, prélude à la construction des notions et concepts, se déploiera à partir d'objets technologiques emblématiques du monde contemporain, de procédés simples ou complexes, de phénomènes naturels. Toute démarche purement descendante est à proscrire ;
3. **une nécessaire mise en cohérence des différents enseignements scientifiques et technologiques : la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les enseignements de mathématiques et de sciences industrielles.**

Partie 1 - Démarche scientifique

1 - Démarche expérimentale

Compétences mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales mises en œuvre dans le cadre d'une démarche scientifique mobilisent les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres composantes du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation - énoncer une problématique - définir des objectifs
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler une hypothèse - proposer une stratégie pour répondre à une problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « Grandeurs et instruments », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2 - Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue. ...
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées. ...

Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.
Communiquer	Présenter la résolution, en expliquant le raisonnement et les résultats.

Remarques complémentaires

Suivent des possibilités d'articulation entre la résolution de problème et les autres types de compétences développées.

En lien avec les incertitudes :

- évaluer ou déterminer la précision de la solution proposée, notamment lorsqu'il s'agit d'une solution approchée sans la surestimer ni la sous estimer (on a souvent tendance à dire que l'on fait un calcul d'ordre de grandeur alors que l'on a un résultat à 10% près) ;
- déterminer ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat ;

En lien avec l'analyse de documents :

- analyser de manière critique un texte dont l'objet est scientifique ou technique, en mobilisant ses connaissances, notamment sur les valeurs quantitatives annoncées. Être capable de vérifier la cohérence des chiffres proposés en développant un modèle simple ;
- vérifier à l'aide d'un document technique, d'une photographie ... le résultat d'une modélisation.

En lien avec la démarche expérimentale :

- l'approche « résolution de problème » peut se prêter à des activités expérimentales pour lesquelles une tâche précise sera demandée sans que la méthode ne soit donnée. Par exemple : mesurer une quantité physique donnée, comparer deux grandeurs, mettre en évidence un phénomène ... ;
- la vérification d'une modélisation sera effectuée en réalisant l'expérience. Cela peut s'effectuer en prédisant quantitativement l'issue d'une expérience, puis en effectuant les mesures pour vérifier les valeurs prédites.

En lien avec les compétences de « rédaction » :

- rédiger de manière concise et directe une solution qui a souvent été trouvée par un long cheminement

3 – Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne capacités exigibles de la partie « formation disciplinaire ». L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...),

- démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^e et XXI^e siècle et de leurs applications ;
 - de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...) - ...
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire pour apporter de la plus-value aux documents proposés - ...
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit - ...
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Confronter les idées d'un texte à ses connaissances - Faire preuve d'esprit critique - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance - ...
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,...(clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques - ...

Partie 2 – Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de la seconde année de TSI durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de première année dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de seconde année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les activités expérimentales sur le thème de la chimie sont aussi l'occasion de consolider les savoir-faire de première année en particulier dans le domaine des solutions aqueuses.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de temps et de fréquences	
Analyse spectrale	Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou un système d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
2. Électricité	
Électronique numérique	Numériser un signal et utiliser un algorithme numérique pour effectuer un filtrage numérique de ce signal.
Onde électromagnétique	Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.
3. Optique	
Analyser une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation. Mesurer une longueur d'onde à l'aide d'un goniomètre équipé d'un réseau.
Analyser une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
4. Thermodynamique	
Conduction thermique.	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique le protocole étant donné.
5. Chimie	
Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques	
- chimiques Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P.	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- électriques	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
- optiques	Utiliser les sources laser de manière adaptée.
2. Impact environnemental	
Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser, notamment dans les domaines de la cristallographie, de la modélisation moléculaire, et plus généralement dans les situations exigeant une représentation tridimensionnelle.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Partie 3 – Formation disciplinaire

1. Thermodynamique et mécanique des fluides appliquées aux machines thermiques

Cette partie du programme s'intéresse aux phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide et aux échanges d'énergie dans les machines thermiques. Elle est essentiellement abordée à travers la mise en œuvre de bilans d'énergie.

Elle prolonge le programme de thermodynamique de première année en introduisant le formalisme de la thermodynamique différentielle.

Les principes de la thermodynamique pour un système fermé sont repris sous forme infinitésimale. Les identités thermodynamiques sont introduites dans le but d'établir et de comprendre les allures des courbes dans les diagrammes thermodynamiques ; il ne s'agit pas de les exploiter pour retrouver les expressions des fonctions d'état, ces dernières devant toujours être fournies. L'application des deux principes aux fluides en écoulement stationnaire dans les systèmes ouverts conduit ensuite à l'analyse de quelques systèmes industriels.

Des notions de base de mécanique des fluides sont également introduites. L'objectif est de décrire les écoulements simples de fluides dans les machines thermiques en évoquant les phénomènes de perte de charge et le rôle de la viscosité. L'approche se fonde exclusivement sur la notion de bilan macroscopique : toute formulation locale de la mécanique des fluides, notamment à l'aide d'opérateurs vectoriels, est exclue.

Enfin, on aborde la conduction thermique à l'aide de bilans infinitésimaux, la loi de Newton étant introduite pour faire le lien avec la thermodynamique industrielle.

Objectifs généraux de formation

Le cours de thermodynamique de deuxième année TSI permet une révision du cours de première année et contribue à conforter les compétences correspondantes.

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme.

- Maîtriser les notions de champs scalaires et vectoriels.
- Découper un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux puis sommer les contributions infinitésimales d'une grandeur extensive.
- Définir une surface de contrôle afin de réaliser des bilans de grandeurs extensives.
- Utiliser des diagrammes thermodynamiques.

La partie **1** introduit sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

La partie **2** présente les principes de la thermodynamique sous forme différentielle. Pour une grandeur extensive A , on note a la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Ces outils sont réinvestis dans la partie **3** à l'occasion de l'étude des diagrammes thermodynamiques. On y exploite également les diagrammes et tables des fluides réels, afin d'habituer les étudiants à ne pas se limiter à des situations idéales (gaz parfait...).

La partie **4** introduit le point de vue eulérien pour l'étude des écoulements. Il s'agit de décrire simplement un écoulement en identifiant des tubes de courant sur lesquels des bilans pourront ensuite être effectués. On pourra faire le lien avec la signification physique des opérateurs rotationnel et divergence introduits dans le cours d'électromagnétisme.

Dans la partie 5, on effectue des bilans énergétiques dans une conduite. On se place dans un premier temps dans le cadre de la dynamique des fluides parfaits. Toute utilisation de l'équation d'Euler ou de Navier-Stokes est exclue. On établit la relation de Bernoulli, puis on prend en compte les pertes de charge dans les conduites. On initie à ce sujet les étudiants à la lecture d'abaques. Dans un second temps, on tient compte des transferts thermiques pour exprimer les principes de la thermodynamique pour un système en écoulement.

La partie 6 permet un approfondissement du cours de première année, par l'étude de cycles industriels. On se limite à des calculs relatifs au modèle du gaz parfait ou à l'utilisation des diagrammes d'état si le fluide est réel. Aucune connaissance relative à la technologie des installations ou aux différents types de cycles n'est exigible.

La partie 7 aborde l'étude de la conduction thermique dans les solides. On se limite à l'étude de problèmes unidimensionnels.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques. Champ de pression.	Distinguer les forces de pression des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\rho g$.	Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Comparer les variations de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère modélisés.
2. Expression différentielle des principes thermodynamiques.	
Échelle mésoscopique, transformation infinitésimale.	Découper un système en sous-systèmes élémentaires. Découper une transformation finie en une succession de transformations infinitésimales.
Premier principe pour un système fermé sous la forme $dU + dEc = \delta W + \delta Q$. Deuxième principe pour un système fermé sous la forme $dS = \delta S_{\text{éch}} + \delta S_{\text{créée}}$ avec $\delta S_{\text{éch}} = \sum \delta Q_i / T_i$.	Appliquer les principes pour obtenir une équation différentielle relative au système considéré.
Identités thermodynamiques.	Définir la température et la pression thermodynamiques.
Relations massiques.	Écrire les principes dans le cas d'un système de masse unité.
3. Diagrammes d'état des fluides réels purs.	
Enthalpie de changement d'état.	Citer des ordres de grandeur d'enthalpies massiques de vaporisation. Calculer l'énergie récupérable par transfert thermique lors de la condensation totale d'un fluide.

Variation élémentaire d'enthalpie au cours d'un changement d'état isotherme.	Lier la variation élémentaire de l'enthalpie à l'enthalpie de changement d'état.
Règle des moments.	Utiliser la règle des moments.
Diagrammes de Clapeyron (P,v), entropique (T,s).	Représenter, pour chaque diagramme, l'allure des courbes isothermes, isobares, isochores, isentropiques, isenthalpes. Établir l'équation de ces courbes dans la limite du gaz parfait, dans la limite du liquide incompressible et indilatable. Exploiter un diagramme pour déterminer une grandeur physique.
4. Description d'un fluide en écoulement stationnaire dans une conduite.	
Grandeurs eulériennes. Régime stationnaire.	Décrire localement les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs intensives pertinentes.
Lignes et tubes de courant.	Déduire le caractère divergent ou rotationnel d'un écoulement à l'aide d'une carte de champ de vitesse fournie.
Débit massique.	Exprimer le débit massique en fonction de la vitesse d'écoulement. Exploiter la conservation du débit massique.
Débit volumique.	Justifier l'intérêt d'utiliser le débit volumique pour l'étude d'un fluide incompressible en écoulement.
5. Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite.	
Fluides parfaits. Fluides newtoniens : notion de viscosité.	Caractériser un fluide parfait par un profil de vitesse uniforme dans une même section droite. Citer des ordres de grandeur de viscosité de gaz et de liquides (dans le cadre des machines hydrauliques et thermiques, des lubrifiants, ...). Relier l'expression de la force surfacique de cisaillement au profil de vitesse. Exploiter les conditions aux limites du champ de vitesse d'un fluide dans une conduite. Lier qualitativement l'irréversibilité d'un écoulement à la viscosité.
Bilan de grandeurs énergétiques extensives.	Définir un volume et une surface de contrôle stationnaire. Énoncer et mettre en œuvre la conservation de l'énergie mécanique pour des systèmes ouverts et fermés.
Bilan d'énergie pour un fluide parfait, relation	Établir un bilan de puissance pour un circuit

de Bernoulli.	hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe. Exploiter la relation de Bernoulli pour un fluide incompressible. Approche documentaire : Analyser des méthodes et des dispositifs de mesure des grandeurs caractéristiques d'un écoulement.
Perte de charge singulière et régulière.	Modifier la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie mécanique par frottement. Mettre en évidence la perte de charge.
Travail indiqué w_i .	Définir le travail indiqué comme la somme des travaux autres que ceux des forces de pression d'admission et de refoulement. Relier la notion de travail indiqué à la présence de parties mobiles.
Premier et second principes pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie	Établir et utiliser ces principes sous la forme : <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_i + q_e$ • $\Delta s = s_{\text{éch}} + s_{\text{créée}}$. Associer l'entropie massique créée aux causes d'irréversibilité de fonctionnement de la machine. Repérer les termes usuellement négligés.
6. Thermodynamique industrielle.	
Moteurs, réfrigérateurs, pompes à chaleur.	Pour une machine dont les éléments constitutifs sont donnés, repérer les sources thermiques, le sens des échanges thermiques et mécaniques. Relier le fonctionnement d'une machine au sens de parcours du cycle dans un diagramme thermodynamique. Exploiter des diagrammes et des tables thermodynamiques pour déterminer les grandeurs thermodynamiques intéressantes. Définir et exprimer le rendement, l'efficacité ou le coefficient de performance de la machine. Citer des ordres de grandeur de puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.
7. Transfert d'énergie par conduction thermique	
Densité de flux thermique.	Définir et algébriser la puissance thermique échangée à travers une interface.
Loi de Fourier.	Lier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son

	sens. Citer des ordres de grandeur de conductivité thermique dans le domaine de l'habitat.
Bilan enthalpique.	Établir une relation différentielle entre la température et le vecteur densité de flux thermique.
Équation de la chaleur sans terme source.	Établir l'équation de la diffusion thermique. Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène. Lier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion au coefficient de diffusion par une analyse dimensionnelle.
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire.	Définir la résistance thermique. Exploiter l'analogie lors d'un bilan thermique.
Loi de Newton.	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs en régime stationnaire.

2. Électronique

Ce module renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder les oscillateurs.

Différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré ALI (également appelé amplificateur opérationnel) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées.

Par ailleurs, des exemples de manifestations des non linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation ou de la vitesse limite de balayage d'un amplificateur.

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- la conversion analogique/numérique.
- l'échantillonnage et le repliement de spectre,
- le filtrage numérique,

Objectifs généraux de formation

Dans le prolongement de la première année, le passage d'une représentation temporelle à une représentation fréquentielle d'un signal est un objectif essentiel de la formation, cette capacité étant renforcée par une pratique abondante de l'analyse spectrale en TP.

Les fonctions de transfert et les diagrammes de Bode nécessaires à la compréhension des systèmes sont systématiquement fournis, l'accent étant mis prioritairement sur la compréhension des fonctions réalisées par des blocs fonctionnels et non par des composants particuliers. L'étude des circuits utilisant un ALI est volontairement limitée à des situations simples dont la compréhension ne nécessite pas l'emploi de technique de résolution sophistiquée.

L'étude expérimentale des systèmes mettant souvent en œuvre des instruments numériques d'acquisition, de mesure, ou de calcul, la formation est complétée par une initiation à l'électronique numérique. Cette ouverture est abordée de manière exclusivement expérimentale afin de sensibiliser les étudiants aux limites introduites par l'échantillonnage lors d'une conversion analogique/numérique.

La partie 1 illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est uniquement évoquée en TP afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire du système étudié. L'identification de certains montages à des systèmes bouclés permet de faire le lien avec le cours d'automatique de SII.

La partie 2 s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies. En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

La partie 3 est exclusivement étudiée de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année. Le professeur introduira les thèmes proposés au fur et à mesure des besoins et en relation avec les autres sujets d'étude. Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement à l'aide d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction, ce dernier étant réalisé à l'aide d'une feuille de calcul traitant l'acquisition numérique d'une entrée analogique, un CNA restituant ensuite une sortie analogique. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par des courants de polarisation nuls, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Modéliser un ALI fonctionnant en régime linéaire par un schéma bloc fonctionnel.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Distinguer les différents régimes de fonctionnement.
Vitesse de balayage.	Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI dans un montage.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de stabilité du régime linéaire.

Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	<p>Établir la relation entrée-sortie du comparateur simple.</p> <p>Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie.</p> <p>Établir le cycle du comparateur à hystérésis.</p>
2. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal .	<p>Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé.</p> <p>Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations.</p> <p>Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.</p> <p>Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.</p> <p>Approche documentaire : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en terme de système bouclé auto-oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.</p>
Oscillateur à relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	<p>Décrire les différentes séquences de fonctionnement.</p> <p>Exprimer les conditions de basculement.</p> <p>Établir la fréquence d'oscillation.</p>
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Réaliser un oscillateur à relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.
3. Électronique numérique	
<p>Échantillonnage.</p> <p>Analyse spectrale numérique.</p> <p>Condition de Shannon.</p>	<p>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre dû à l'échantillonnage lors de l'utilisation d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition</p> <p>Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une d'acquisition numérique afin de respecter la condition de Shannon.</p>
Filtrage numérique.	Réaliser un filtrage numérique passe-bas d'une acquisition.

3. Optique

Le programme d'optique de seconde année s'inscrit dans le prolongement de la partie « Signaux physiques » du programme de première année. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, conséquences de la nature ondulatoire de la lumière.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année TSI, le formalisme utilisé constitue une avancée importante dans la modélisation des phénomènes décrits ; l'enseignant veillera particulièrement à privilégier les aspects expérimentaux et à utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant ne manquera pas non plus de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

L'approche expérimentale sera centrée sur la mise en œuvre des trous d'Young et de dispositifs d'interférences à N ondes.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser la notion de phase d'une vibration harmonique et de sa variation au cours d'une propagation ;
- associer les caractéristiques géométriques d'un phénomène d'interférences (position et forme des franges, interfrange) à celles des sources et du milieu de propagation ;
- connaître certains ordres de grandeur propres aux phénomènes lumineux dans le domaine du visible (longueur d'onde, durée d'un train d'onde, temps d'intégration d'un capteur) ; faire le lien avec les problèmes de cohérence ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon de lumière, principe du retour inverse, lois de conjugaison) et de l'optique ondulatoire (chemin optique, surface d'onde, théorème de Malus) afin de conduire un calcul de différence de marche entre deux rayons de lumière dans des situations simples.

La partie **1** introduit les outils nécessaires. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Les calculs théoriques d'intensité lumineuse sont effectués dans la partie **2**.

Dans la partie **3**, l'utilisation des trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur de front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Modèle scalaire des ondes lumineuses.	
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.

Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques sources de lumière. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour lier la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la source.
Détecteurs. Intensité lumineuse. Facteur de contraste	Exploiter la propriété qu'un capteur optique quadratique fournisse un signal proportionnel à l'énergie lumineuse reçue pendant son temps d'intégration. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques. Mettre en œuvre une expérience utilisant un capteur CCD.
2. Superposition d'ondes lumineuses.	
Superposition d'ondes incohérentes entre elles.	Exploiter l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel : $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$.	Vérifier que les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (égalité des pulsations et déphasage constant dans le temps) sont réunies. Établir et exploiter la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Réaliser expérimentalement un spectroscopie à l'aide d'un réseau optique.
3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde.	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie et à l'infinie. Ordre d'interférences p .	Exprimer et utiliser l'ordre d'interférences. Décrire et mettre en œuvre une expérience simple d'interférences : trous d'Young ou fentes d'Young. Montrer la non localisation des franges d'interférences.

Variations de l'ordre d'interférences p avec la position du point d'observation ; franges d'interférences. Interfrange.	Interpréter la forme des franges observées.
Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.	Comparer les deux dispositifs en mettant en évidence analogies et différences.

4. Électromagnétisme

Le programme d'électromagnétisme de la deuxième année s'inscrit dans le prolongement des parties « Signaux physiques » et « Induction et conversion électromécanique » du programme de première année. Il s'agit pour les étudiants de découvrir les lois locales et intégrales qui gouvernent les champs électrique et magnétique et certaines applications dans des domaines variés.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année TSI, le formalisme utilisé constitue, bien souvent, pour les étudiants une première découverte ; il convient pour l'enseignant d'être particulièrement attentif aux difficultés potentielles des étudiants et d'utiliser tous les outils de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations.

L'étude des champs électrostatique et magnétostatique est présentée en deux parties distinctes ; l'enseignant est libre, s'il le souhaite, de procéder à une présentation unifiée de la notion de champ statique. Pour les calculs de champs, l'accent est mis sur les situations à haut degré de symétrie qui permettent l'utilisation efficace des propriétés de flux ou de circulation.

Les équations locales des champs statiques sont introduites comme cas particuliers des équations de Maxwell.

La loi de Biot et Savart et la notion de potentiel vecteur ne relèvent pas du programme. Les relations de passage relatives au champ électromagnétique peuvent être exploitées mais doivent être systématiquement fournies en cas de besoin.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde électromagnétique dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un métal parfait.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser le concept de champ scalaire et de champ de vecteurs et manipuler les opérateurs vectoriels relatifs aux champs scalaires et vectoriels ; citer quelques ordres de grandeur
- conduire des analyses de symétrie et d'invariance et calculer des champs à l'aide de propriétés de flux ou de circulation ;
- énoncer des lois de l'électromagnétisme sous formes locale et intégrale et faire le lien entre les deux formulations ;
- conduire des bilans énergétiques mettant en jeu matière et champ électromagnétique ;
- associer au phénomène de propagation un couplage entre les champs, une équation locale et des solutions dans des cas simples ;
- décrire la propagation d'une onde électromagnétique dans le vide.

La partie **1** présente les lois quantitatives qui régissent le champ électrostatique. Les notions abordées sont centrées sur les distributions de charges, le champ et le potentiel. Pour le champ électrique et le potentiel, on se limite aux expressions explicites dans le cas de charges ponctuelles et sous forme intégrale dans le cas de distributions continues.

L'accent est mis sur les propriétés intégrales du champ et sur le théorème de Gauss (admis) pour des situations présentant un haut degré de symétrie. Une antisymétrie est la composée d'une symétrie plane et d'une opération de conjugaison de charge.

Des capacités sur la lecture des lignes de champ et des surfaces équipotentielles sont développées.

Le condensateur plan est introduit mais l'étude des conducteurs en équilibre électrostatique ne relève pas du programme.

Une approche énergétique est conduite dans un cas simple : une charge ponctuelle placée dans un champ électrique extérieur.

Les analogies avec la gravitation sont centrées sur l'application du théorème de Gauss.

L'étude de la magnétostatique menée dans la partie **2** s'appuie le plus possible sur les différents aspects qualitatifs et quantitatifs vus en première année de TSI, les étudiants sont donc déjà familiarisés avec le concept de champ magnétostatique. La loi de Biot et Savart n'est pas introduite ; l'utilisation de celle-ci pour calculer un champ magnétostatique est donc exclue.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le seront uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

On aborde les propriétés intégrales du champ et on utilise le théorème d'Ampère pour des calculs dans des cas présentant un haut degré de symétrie.

Les équations de Maxwell sont présentées dans la partie **3**. Elles permettent une première approche quantitative du phénomène de propagation et, également, de revenir qualitativement sur l'induction étudiée en première année.

Les lois locales de l'électrostatique relatives au potentiel constituent un support pertinent pour procéder à une approche numérique de la résolution d'une équation différentielle.

Dans la partie **4**, on s'intéresse à l'aspect énergétique de l'électromagnétisme. Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

La partie **5**, articulé autour de la propagation des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent.

La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'approfondir leurs connaissances sur les ondes stationnaires et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude. La notion de densité de courant surfacique est introduite mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Électrostatique.	
Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Champ électrostatique créé par un ensemble de charges ponctuelles. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.
Distributions continues de charges : volumique, surfacique, linéique.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ électrostatique par superposition. Choisir un type de distribution continue adaptée à la situation modélisée. Évaluer la charge totale d'une distribution continue dans des situations à géométries simples.
Symétries et invariances du champ électrostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. Identifier les invariances d'une distribution de charges. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges pour caractériser le champ électrostatique créé.
Circulation du champ électrostatique. Notion de potentiel électrostatique. Opérateur gradient.	Relier le champ électrostatique au potentiel. Exprimer le potentiel créé par une distribution discrète de charges. Connaître l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. Calculer un champ électrostatique à partir du potentiel, l'expression de l'opérateur gradient étant fournie dans le cas des coordonnées sphériques et cylindriques. Calculer une différence de potentiel par circulation du champ électrostatique dans les cas simples.
Flux du champ électrostatique. Théorème de Gauss.	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ électrostatique peut être calculé à l'aide du théorème de Gauss. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie.

Cas de la sphère, du cylindre « infini » et du plan « infini ».	Établir les expressions des champs électrostatiques créés en tout point de l'espace par une sphère uniformément chargée en volume, par un cylindre « infini » uniformément chargé en volume et par un plan « infini » uniformément chargé en surface. Établir et exploiter le fait qu'à l'extérieur d'une distribution à symétrie sphérique, le champ électrostatique créé est le même que celui d'une charge ponctuelle concentrant la charge totale et placée au centre de la distribution.
Étude du condensateur plan comme la superposition de deux distributions surfaciques, de charges opposées.	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide en négligeant les effets de bords.
Lignes de champ, tubes de champ, surfaces équipotentielles.	Orienter les lignes de champ électrostatique créées par une distribution de charges. Représenter les surfaces équipotentielles connaissant les lignes de champ et inversement. Relier les variations de l'intensité du champ électrostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution. Approche numérique : représenter des cartes de lignes de champ et d'équipotentielles.
Énergie potentielle électrostatique d'une charge placée dans un champ électrostatique extérieur.	Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique extérieur.
Analogies avec la gravitation.	Transposer le théorème de Gauss au cas de la gravitation.
2. Magnétostatique	
Courant électrique. Vecteur densité de courant volumique. Distributions de courant électrique filiformes.	Calculer l'intensité du courant électrique traversant une surface orientée. Justifier la modélisation d'une distribution de courant par une distribution filiforme.
Champ magnétostatique. Principe de superposition.	Décomposer une distribution en des distributions plus simples dans le but de calculer un champ magnétostatique par superposition dans des cas simples.
Symétries et invariances du champ magnétostatique.	Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants. Identifier les invariances d'une distribution de courants. Exploiter les symétries et les invariances d'une

	distribution de courants pour caractériser le champ magnétostatique créé.
Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Reconnaître les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie. Citer quelques ordres de grandeur de champs magnétostatiques.
Applications au fil rectiligne « infini » de section non nulle et au solénoïde « infini ».	Justifier le choix d'une modélisation d'une distribution de charges par une distribution « infinie ». Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne « infini » de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde « infini » en admettant que le champ est nul à l'extérieur.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Relier les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de ligne de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution. Approche numérique : représenter des cartes de lignes de champ magnétostatique.
3. Équations de Maxwell	
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Écrire et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Interpréter qualitativement le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday.
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Approximation des régimes quasi-stationnaires (ou quasi-permanents).	Comparer une durée typique d'évolution des sources à une durée de propagation de l'onde électromagnétique.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.

Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Approche numérique : mettre en œuvre une méthode de résolution numérique pour déterminer une solution à l'équation de Laplace, les conditions aux limites étant données.
4. Énergie du champ électromagnétique	
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; densité volumique de puissance Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting : bilan d'énergie.	Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme globale.
5. Propagation	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
Exemple d'états de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs.	Reconnaître l'expression d'une onde plane polarisée rectilignement. Mettre en évidence une polarisation rectiligne.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Exploiter la nullité des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.

5. Chimie

Le programme de chimie de deuxième année de TSI reprend et complète celui de première année.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- distinguer modélisation d'une transformation chimique (réaction chimique et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système (tableau d'avancement, comparaison entre quotient de réaction et constante d'équilibre, état d'équilibre final ou transformation totale) prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- utiliser des tables de données thermodynamiques ;
- confronter des grandeurs calculées avec des mesures expérimentales.

La partie **1** traite de la thermodynamique de la transformation chimique. Le but de cette partie est double : d'une part aborder les transferts thermiques d'un système engagé dans une transformation chimique, et d'autre part utiliser le critère d'évolution spontané d'un système chimique.

Les grandeurs standard de réaction sont introduites. On se place systématiquement dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. D'une part, le calcul de ces grandeurs à 298 K à partir de tables de données thermodynamiques rend possible une estimation du transfert thermique d'un système engagé dans une transformation physico-chimique qui peut être confrontée à l'expérience.

Le critère d'évolution spontanée d'un système chimique se fait par comparaison entre la constante thermodynamique d'équilibre et le quotient de réaction, sans que celui-ci soit relié au deuxième principe. La variation de la constante d'équilibre avec la température est décrite par la loi de Van't Hoff.

Enfin, l'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système chimique permet d'aborder la problématique de l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. L'étude de tout ou partie d'une unité de synthèse industrielle est conduite à l'aide d'une approche documentaire.

La partie **2** présente les diagrammes potentiel-pH, autres que celui du fer déjà vu en première année. La discussion et l'utilisation des diagrammes potentiel-pH doit se faire en lien avec leurs applications industrielles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Équilibres chimiques	
1.1. Application du premier principe à la transformation chimique	
État standard. Enthalpie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément. Loi de Hess.	Calculer l'enthalpie standard de réaction à l'aide de tables de données thermodynamiques et de la loi de Hess.

<p>Effets thermiques pour une transformation isobare :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\circ$) ; - transformation chimique exothermique ou endothermique. 	<p>Prévoir le sens du transfert thermique entre le système en transformation chimique et le milieu extérieur.</p> <p>Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale mettant en jeu des effets thermiques d'une transformation chimique.</p>
<p>1.2. Equilibre chimique</p>	
<p>Constante d'équilibre : $K^\circ(T) = Q_{r, \text{éq}}$</p> <p>Relation de Van't Hoff.</p>	<p>Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre thermodynamique d'une réaction par combinaison de constantes d'équilibres thermodynamiques d'autres réactions.</p> <p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre thermodynamique à une température quelconque.</p> <p>Déterminer le signe de l'enthalpie standard de réaction à partir de la loi de variation de $K^\circ(T)$ avec la température, la relation de Van't Hoff étant fournie.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour déterminer la valeur d'une constante d'équilibre en solution aqueuse.</p>
<p>État final d'un système : équilibre chimique ou transformation totale.</p>	<p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>
<p>Déplacement de l'équilibre chimique : influence d'une variation de température à pression constante.</p> <p>Influence d'une variation de la pression à température constante.</p>	<p>Utiliser les lois de modération qualitatives de Le Châtelier et comparer $K^\circ(T)$ fourni et Q_r pour en déduire le sens d'évolution spontanée du système.</p>
<p>Optimisation d'un procédé chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • par modification de la valeur de K° ; • par modification de la valeur du quotient réactionnel. 	<p>Identifier les paramètres d'influence et la manière dont il faut les faire évoluer pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents décrivant une unité de synthèse industrielle, analyser les choix industriels, aspects environnementaux inclus.</p>

2. Diagrammes potentiel-pH

Lecture de diagrammes potentiel-pH	<p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Repérer une dismutation et la justifier.</p> <p>Prévoir les réactions chimiques possibles par superposition de plusieurs diagrammes.</p> <p>Citer un exemple d'application industrielle des diagrammes potentiel-pH</p>
------------------------------------	--

Appendice : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique de la classe de deuxième année TSI sont d'une part ceux qui figurent dans l'annexe 1 du programme de première année et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » n'a pas fait l'objet d'une rubrique en première année. L'expression des différents opérateurs introduits sont exigibles en coordonnées cartésiennes. Les expressions des opérateurs en coordonnées cylindriques et sphériques et les formules d'analyse vectorielle ne sont pas exigibles ; elles doivent donc être systématiquement rappelées.

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion. L'accent sera mis sur le rôle des conditions aux limites.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles seront mobilisées principalement dans le cours de chimie sur la thermodynamique de la transformation chimique ; les fondements feront l'objet d'une étude dans le cadre du chapitre « calcul différentiel » du cours de mathématique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse vectorielle	
Gradient	<p>Connaître le lien entre le gradient et la différentielle.</p> <p>Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.</p> <p>Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso-f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes.</p>
Divergence.	Utiliser le théorème d'Ostrogradski fourni. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Rotationnel.	Utiliser le théorème de Stokes fourni. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.

Laplacien d'un champ scalaire.	Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ de vecteurs.	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes. Utiliser la formule d'analyse vectorielle : $\mathbf{rot}(\mathbf{rot}\mathbf{A}) = -\Delta\mathbf{A} + \mathbf{grad}(\text{div}\mathbf{A})$.
2. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution fréquemment rencontrée dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.
3. Calcul différentiel	
Différentielle d'une fonction de plusieurs variables. Dérivée partielle.	Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Identifier la valeur d'une dérivée partielle, l'expression de la différentielle étant donnée.

Programme de Physique TPC1

Le programme de physique de la classe de TPC1 s'inscrit entre deux continuités, en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

À travers l'enseignement de la physique, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TPC1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles étaient le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

- dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront

à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

- dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
- dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une **approche numérique** ou d'une **approche documentaire**.

Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de TPC1.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique, chimie, sciences industrielles.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche expérimentale s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie ;
- le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées ;

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique (impédance, facteur de qualité, lois de modulation pour ne citer que quelques exemples).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie

expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> – rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale – énoncer une problématique d'approche expérimentale – définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> – formuler et échanger des hypothèses – proposer une stratégie pour répondre à la problématique – proposer un modèle associé – choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental – évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> – mettre en œuvre un protocole – utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel – mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates – effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> – exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes – confronter un modèle à des résultats expérimentaux – confirmer ou infirmer une hypothèse, une information – analyser les résultats de manière critique – proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> – à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> – présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible – utiliser un vocabulaire scientifique adapté – s'appuyer sur des schémas, des graphes – faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> – travailler seul ou en équipe – solliciter une aide de manière pertinente – s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation, les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheurs ou d'ingénieurs. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et à l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats ...

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie et avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^e et XXI^e siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale STL, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et mises en œuvre en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans un appendice du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent

posséder de solides connaissances et capacités dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole et du choix des instruments de mesure, qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières STI2D et STL du lycée.

Pour assurer le succès de cette formation en filière TPC, il est essentiel que ces notions diffusent dans chacun des thèmes du programme tout au long des deux années préparatoires et qu'elles soient régulièrement évaluées. Dans un souci de contextualisation, on évitera toutes séquences de cours spécifiques. L'informatique fournit aux élèves les outils nécessaires à l'évaluation des incertitudes sans qu'ils soient conduits à entrer dans le détail des concepts mathématiques sous-jacents.

Notions et contenu	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.
Évaluation d'une incertitude-type	Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).
Incertitude-type composée	Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).
Incertitude élargie	Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.
Présentation d'un résultat expérimental	Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure)	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance. Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence. Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données	Utiliser un logiciel de régression linéaire. Connaître la signification du coefficient de corrélation.

expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.

Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.

Extraire graphiquement ou à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours de l'année durant les séances de travaux pratiques. Comme précisé dans le préambule consacré à la formation expérimentale, une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes - repérés en gras dans le corps du programme de formation disciplinaire - peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel : par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour de l'oscilloscope ne sauraient être l'objectif d'une séance unique, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées par domaine, les deux premiers étant davantage transversaux. Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. La capacité à former une image de bonne qualité, par exemple, peut être mobilisée au cours d'une expérience de mécanique ou de thermodynamique, cette transversalité de la formation devant être un moyen, entre d'autres, de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites plus haut dans la partie « Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des compétences ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>1. Mesures de longueurs et d'angles</p> <p>Longueurs : sur un banc d'optique.</p> <p>Longueurs : à partir d'une photo ou d'une vidéo.</p> <p>Angles : avec un goniomètre.</p> <p>Longueurs d'onde.</p>	<p>Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.</p> <p>Pouvoir évaluer avec précision, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.</p> <p>Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette autocollimatrice.</p> <p>Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.</p> <p>Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.</p> <p>Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.</p>

2. Mesure de temps et de fréquence

Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition.

Analyse spectrale.

Décalage temporel/déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.

Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.

Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.

Reconnaître une avance ou un retard.

Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.

Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.

3. Électricité

Mesurer une tension : mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique.

Mesurer un courant :

- mesure directe à l'ampèremètre numérique ;
- mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée.

Mesurer une résistance ou une impédance :

- mesure directe à l'ohmmètre ou au capacimètre ;
- mesure indirecte à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.

Caractériser un dipôle quelconque.

Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.

Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes :

- isolation, amplification, filtrage ;
- sommation.

Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :

- expliquer le lien entre résolution, calibre, nombre de points de mesure ;
- préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ;
- définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...).

Tracer la caractéristique statique d'un capteur.

Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données

Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison masse.

Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.

Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.

<p>4. Optique</p> <p>Former une image.</p> <p>Créer ou repérer une direction de référence.</p> <p>Analyser une lumière.</p>	<p>Éclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.</p> <p>Régler et mettre en œuvre une lunette autocollimatrice et un collimateur.</p> <p>Obtenir et analyser un spectre à l'aide d'un spectromètre. Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et mesurer sa direction de polarisation.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer une masse.</p> <p>Visualiser et décomposer un mouvement.</p> <p>Mesurer une vitesse, une accélération.</p> <p>Quantifier une action.</p>	<p>Utiliser une balance de précision.</p> <p>Mettre en œuvre une méthode de stroboscopie. Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre.</p> <p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p>6. Thermodynamique</p> <p>Mesurer une pression.</p> <p>Mesurer une température.</p> <p>Effectuer des bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu.</p> <p>Mettre en œuvre un capteur de température.</p> <p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>

Contenus disciplinaires

A. Premier semestre

1. Signaux Physiques

Présentation

Cette partie doit être traitée en totalité avant d'aborder les autres parties du programme. Elle porte sur l'étude des signaux physiques, et plus particulièrement sur celle des signaux sinusoïdaux, qui jouent un rôle central dans les systèmes linéaires. Cette première partie s'appuie sur un spectre large de concepts qui ont été abordés au lycée.

- en classe de seconde : signal périodique et spectre ;
- en classe de première STL : tronc commun (énergie électrique, dipôles actifs et passifs, ondes sonores et ultrasonores, mécaniques et électromagnétiques) et module image de la spécialité

SPCL (systèmes optiques, lumière, stigmatisme, lentilles minces et association, appareil photo numérique, sources laser)

- en classe de terminale STL : tronc commun (capteurs et chaînes de mesure) et module ondes de la spécialité SPCL (phénomènes vibratoires, oscillations libres et forcées en électricité, ondes progressives, réflexion, réfraction, diffusion, diffraction, interférences, réseaux, instruments optiques, polarisation) et module systèmes et procédés de la spécialité SPCL (dipôles actifs, filtrage et amplification, gabarit de filtre, boucle de régulation)

La familiarité des étudiants avec la plupart des notions abordées dans cette partie doit faciliter la transition vers une physique plus quantitative qu'au lycée, ce qui nécessite une acquisition progressive d'outils nécessaires à la formalisation mathématique des lois de la physique. Les thèmes abordés dans cette partie ont été retenus pour leur caractère motivant ou formateur. Il convient d'introduire progressivement le formalisme en soulignant la richesse des conclusions auxquelles il permet d'accéder. Dans toute cette partie, on ne s'intéresse, à une exception près, qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace.

L'enseignement de cette partie doit faire très largement appel à la démarche expérimentale, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou de travaux pratiques. Il convient à cet égard d'être conscient que la pratique des circuits électriques ne figure que très peu dans les programmes du lycée.

Objectifs généraux de formation

Outre la maîtrise des compétences reliées aux notions abordées, cette première partie de programme « signaux physiques » a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes qui seront réinvesties par la suite :

- comprendre le rôle joué par une équation différentielle dans la modélisation de l'évolution temporelle d'un système ;
- relier linéarité et superposition ;
- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- interpréter physiquement et distinguer les représentations spatiales et temporelles d'un signal qui se propage ;
- relier conditions aux limites et quantification des ondes stationnaires ;
- dégager les similitudes de comportement entre systèmes analogues par une mise en équation pertinente utilisant variables réduites et paramètres caractéristiques adimensionnés ;
- réaliser des constructions graphiques claires et précises pour appuyer un raisonnement ou un calcul.

Il importe toutefois de réaliser qu'à l'issue de cette partie de programme, ces compétences ne sauraient être complètement acquises, et qu'il convient d'y revenir à chaque fois que l'occasion s'en présente dans la suite de la formation.

Dans la **partie 1** consacrée à la propagation, il est indispensable de s'appuyer sur l'approche expérimentale et sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation physique des signaux qui se propagent et leurs représentations spatiales et temporelles, sans qu'aucune référence soit faite ici à une expression mathématique du signal. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultant obtenu. Les ondes stationnaires apparaissent dans cette partie pour illustrer le rôle des conditions aux limites dans la quantification en modes propres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux, spectre.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.

	<p>Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.</p>
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	<p>Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants.</p>
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	<p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p> <p>Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</p>
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.</p> <p>Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.</p> <p>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.</p>
Ondes stationnaires mécaniques.	<p>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</p> <p>Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres.</p> <p>Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde.</p>
Diffraction à l'infini.	<p>Utiliser la relation $\sin\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p> <p>Connaître les conséquences de la diffraction sur la focalisation et sur la propagation d'un faisceau laser.</p> <p>Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.</p>
Polarisation rectiligne de la lumière.	<p>Reconnaître et produire une onde lumineuse polarisée rectilignement.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale de la mesure d'un pouvoir rotatoire.</p>

La **partie 2** portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme seuls objectifs de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Optique géométrique	
Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion - Réfraction. Lois de Descartes.	Établir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	<p>Énoncer les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton).</p> <p>Établir et citer la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.</p> <p>Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.</p> <p>Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</p>
L'œil.	<p>Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.</p> <p>Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.</p>
Système de deux lentilles minces accolées équivalent à une lentille unique.	Démontrer et connaître les lois d'additivité des vergences. Savoir que ce dispositif permet de réaliser une lentille pratiquement achromatique.

La **partie 3** pose les bases nécessaires pour l'étude des circuits dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS). L'effort se porte ici principalement sur les dipôles R, L et C, peu étudiés au lycée. Bien entendu, les travaux pratiques peuvent faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, capteurs...) dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Circuits électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension.	Savoir que la charge électrique est quantifiée. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application. Citer les relations entre l'intensité et la tension pour les composants R, L et C. Citer les ordres de grandeurs des composants R, L, C. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.
Puissance	Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.
Association de deux résistances	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. Extraire les grandeurs d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit.

Les **parties 4 et 5** abordent l'étude des circuits linéaires du premier et du second ordre en régime libre puis forcé, et une introduction au filtrage linéaire. Il s'agit avant tout de comprendre les principes des outils utilisés, et leur exploitation pour étudier le comportement d'un signal traversant un système linéaire. Ainsi l'évaluation ne peut-elle porter sur le tracé d'un diagramme de Bode à partir d'une fonction de transfert, ou sur la connaissance a priori de catalogues de filtres. Cependant, le professeur pourra, s'il le souhaite, détailler sur l'exemple simple du filtre du premier ordre le passage de la fonction de transfert au diagramme de Bode. L'objectif est bien plutôt ici de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter le signal de sortie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit linéaire du premier ordre	
Régime libre, réponse à un échelon.	<p>Réaliser pour un circuit l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre et analyser ses caractéristiques. Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques.</p> <p>Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <p>Interpréter les continuités de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité dans une bobine.</p> <p>Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution du système avant toute résolution de l'équation différentielle.</p> <p>Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.</p>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.

La **partie 5** est initiée par l'étude d'un système simple, l'oscillateur harmonique non amorti en mécanique. Ce système permet d'introduire le concept fondamental d'équation différentielle modèle de l'évolution temporelle, dans un contexte où la mise en équations ne pose pas de difficulté majeure, et d'introduire un vocabulaire précis qui sera réinvesti par la suite.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Comportement dynamique d'un système au voisinage d'une position d'équilibre stable. Réponse à une excitation.	
5.1 Oscillateur harmonique	
Mouvement horizontal sans frottement d'une masse accrochée à un ressort linéaire sans masse. Position d'équilibre.	Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique. La résoudre compte tenu des conditions initiales.

	<p>Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation.</p> <p>Contrôler la cohérence de la solution obtenue avec la conservation de l'énergie mécanique, l'expression de l'énergie potentielle élastique étant ici affirmée.</p>
5.2 Oscillateurs amortis	
Circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique. Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.</p> <p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <p>Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Prévoir la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité.</p>
Régime sinusoïdal forcé, impédances complexes.	Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime harmonique.
Association de deux impédances	Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.
Oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance.	<p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance.</p> <p>Utiliser la méthode des complexes pour étudier le régime forcé.</p> <p>À l'aide d'un outil de résolution numérique, mettre en évidence le rôle du facteur de qualité pour l'étude de la résonance en élongation ou en tension.</p> <p>Relier l'acuité de la résonance au facteur de qualité.</p> <p>Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.</p> <p>Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour des régimes transitoires du premier ou du second ordre (flash, sismomètre, ...).</p>

5.3. Filtrage linéaire	
Signaux périodiques.	Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales. Définir la valeur moyenne et la valeur efficace. Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.
Gabarit d'un filtre. Fréquences de coupure. Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	Reconnaître les gabarits des filtres passe-bas, passe-haut et passe-bande. Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode d'après l'expression de la fonction de transfert.
Modèles simples de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre afin de l'utiliser comme moyennneur, intégrateur, ou dérivateur. Approche documentaire : expliquer la nature du filtrage introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre...) Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

2. Mécanique 1

Présentation

Après la partie « signaux physiques » du programme où on ne s'intéresse qu'à des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace ou de temps, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace.

Le programme de mécanique s'inscrit dans le prolongement du programme du cycle terminal des séries technologiques qui privilégie une approche énergétique.

- Seconde : relativité du mouvement, référentiel, modélisation action par de s forces, Principe d'inertie, gravitation et pesanteur.

- Première STL : trajectoire, vitesse, vitesse angulaire, accélération, énergie cinétique, moment d'inertie d'un solide autour d'un axe, énergie potentielle de pesanteur, élastique et mécanique

Terminale STL : actions mécaniques, forces et moments, couples, transfert d'énergie pas travail mécanique, conservation ou non de l'énergie mécanique, frottement de contact

L'objectif majeur est la maîtrise opérationnelle des lois fondamentales (loi de l'inertie, principe fondamental de la dynamique, loi de l'énergie cinétique, loi des actions réciproques). En première année on se limite à l'étude de la mécanique dans un référentiel galiléen.

Objectifs généraux de formation

Après la partie « Signaux physiques » du programme, qui implique uniquement des grandeurs scalaires associées à au plus une variable d'espace, la partie « mécanique » constitue une entrée concrète vers la manipulation de grandeurs vectorielles associées à plusieurs variables d'espace : il convient d'accorder toute son importance à la marche à franchir pour les étudiants.

Par ailleurs, la mécanique doit contribuer à développer plus particulièrement des compétences générales suivantes :

- faire preuve de rigueur : définir un système, procéder à un bilan complet des forces appliquées ;
- faire preuve d'autonomie : choisir un référentiel, choisir un système de repérage, identifier les inconnues, choisir une méthode de mise en équations lorsque plusieurs méthodes sont possibles ;
- modéliser une situation : choisir un niveau de modélisation adapté ; prendre conscience des limites d'un modèle ; comprendre l'intérêt de modèles de complexité croissante (prise en compte des frottements, des effets non-linéaires) ;
- utiliser divers outils (discussions graphiques, résolution analytique, résolution numérique) pour discuter les solutions de la ou des équations différentielles modélisant l'évolution temporelle d'un système ;
- identifier et utiliser des grandeurs conservatives ;
- rechercher les paramètres significatifs d'un problème ;
- mener un raisonnement qualitatif ou semi-quantitatif rigoureux ;
- faire apparaître et exploiter des analogies : circuit RLC en électrocinétique, pendule simple aux « petits » angles et système masse-ressort ;
- schématiser une situation et en étayer l'analyse à l'aide d'un schéma pertinent (bilan des forces...) ;
- prendre conscience des limites d'une théorie (limite relativiste...) ;
- confronter les résultats d'une étude à ce qu'on attendait intuitivement ou à des observations.

Pour que l'ensemble de ces compétences soient pleinement développées, il est indispensable de ne pas proposer aux étudiants exclusivement des situations pré-modélisées (masse accrochée à un ressort...) et de ne pas se limiter à des situations débouchant sur la résolution analytique d'une équation différentielle. L'étude approfondie d'un nombre limité de dispositifs réels doit être préférée à l'accumulation d'exercices standardisés.

La **partie 1** est une approche de la cinématique du point (les exemples étant limités aux mouvements plans), et de la cinématique du solide (limitée aux cas de la translation et de la rotation autour d'un axe fixe). Il convient de construire les outils sans formalisme excessif, en motivant l'étude par des exemples réels, tirés par exemple d'expériences de cours ou d'enregistrements vidéo. Ainsi, l'introduction du repérage en coordonnées cartésiennes s'appuie sur l'étude du mouvement à accélération constante et l'introduction du repérage en coordonnées polaires s'appuie sur l'étude du mouvement circulaire. Il importe d'être conscient que la géométrie est peu étudiée dans les cours de mathématiques : à cet égard la compréhension du rôle de l'accélération normale dans un mouvement curviligne plan quelconque est une compétence attendue mais tout calcul à ce sujet est hors de portée des élèves qui ne connaissent pas la géométrie différentielle (rayon de courbure, trièdre de Frenet). La description du mouvement de la Terre autour du Soleil, débouchant notamment sur la compréhension du phénomène des saisons, permet de donner du sens au formalisme introduit. Pour le solide en rotation autour d'un axe fixe, il s'agit simplement de définir le mouvement en remarquant que tout point du solide décrit un cercle autour de l'axe avec une même vitesse angulaire ω et d'explicitier la vitesse de chaque point en fonction de ω et de la distance à l'axe de rotation ; la connaissance du vecteur-rotation n'est pas exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	
Espace et temps classiques. Référentiel d'observation. Caractère relatif du mouvement. Description d'un mouvement. Vecteur-position, vecteur-vitesse, vecteur-accélération.	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé.
Mouvement rectiligne à accélération constante. Mouvement courbe de vecteur-accélération constant.	Exprimer la vitesse et la position en fonction du temps. Obtenir la trajectoire en coordonnées cartésiennes. Prévoir qualitativement les mouvements projetés sur des axes parallèle et perpendiculaire au vecteur accélération.
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération en coordonnées polaires planes. Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Description du mouvement d'un solide dans deux cas particuliers.	
Définition d'un solide.	Différencier un solide d'un système déformable.
Translation.	Reconnaître et décrire une translation rectiligne, une translation circulaire.
Rotation autour d'un axe fixe.	Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.
Mouvement de la Terre.	Approche documentaire : connaître l'ordre de grandeur des distances, des dimensions et des durées caractéristiques ; connaître l'origine des saisons.

La **partie 2** introduit les bases de la dynamique newtonienne. Il est essentiel de ne pas se limiter à l'étude de situations simplifiées à l'excès afin de parvenir à une solution analytique. Au contraire il convient d'habituer les étudiants à utiliser les outils de calcul numérique (calculatrices graphiques, logiciels de calcul numérique...) qui permettent de traiter des situations réelles dans toute leur richesse (rôle des frottements, effets non linéaires...).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Loi de la quantité de mouvement	
Notions sur les quatre interactions fondamentales.	Approche documentaire : connaître quelques ordres de grandeur ; nommer les quatre interactions ; et les associer à un domaine d'application.
Forces. Loi des actions réciproques.	Établir un bilan des forces et en rendre compte sur une figure. Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Quantité de mouvement d'un point matériel.	Utiliser l'expression de la quantité de mouvement d'un point matériel.
Référentiel galiléen. Loi de l'inertie.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.
Influence de la résistance de l'air.	Approche numérique : Prendre en compte la traînée pour modéliser une situation réelle. Approche numérique : Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats fournis par un logiciel d'intégration numérique. Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.
Loi de l'énergie cinétique dans un référentiel galiléen.	Utiliser cette loi sous forme instantanée ou entre deux dates distinctes.

Énergie potentielle. Énergie mécanique.	Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle).
Mouvement conservatif.	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.
Mouvement conservatif à une dimension.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre, et la nature stable ou instable de ces positions.

B. Deuxième semestre

1. Mécanique 2

La **partie 3**, centrée sur l'étude des mouvements de particules chargées, se prête à une ouverture vers la dynamique relativiste, qui ne doit en aucun cas être prétexte à des débordements, en particulier sous forme de dérives calculatoires ; la seule compétence attendue est l'exploitation des expressions fournies de l'énergie et de la quantité de mouvement d'une particule relativiste pour analyser des documents scientifiques portant sur l'expérience de Bertozzi et sur le principe du synchrocyclotron.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule. Savoir qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire d'une particule sans lui fournir d'énergie.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accelération constant. Effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
Mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Approche numérique : résoudre le système d'équations. Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire. Approche documentaire : analyser des documents scientifiques montrant les limites relativistes en s'appuyant sur les expressions fournies $E_c = (\gamma - 1)mc^2$ et $p = \gamma mv$.

2. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière technologique du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température via la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les étudiants ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. A travers les flux thermiques spontanés, le principe d'irréversibilité est abordé et le second principe énoncé.

Seconde : pression d'un gaz : loi de Boyle Mariotte

Première STL : Energie interne, capacité thermique, transfert thermique

Terminale STL : tronc commun (états de la matière : transfert thermique et changement d'état, transfert d'énergie par) , module système et procédés (transfert d'énergie d'une source chaude à une source froide, transfert d'énergie sous forme de travail et de chaleur, modèle du gaz parfait, premier et deuxième principe de la thermodynamique, irréversibilité, flux thermiques, échanges thermiques)

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

Autant que possible, il s'agit d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique, inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;

- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
Vitesse quadratique moyenne. Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c=3/2kT$.	Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
Système thermodynamique.	Connaître l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro. Définir si un système est ouvert, fermé, isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Énoncer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Savoir que $U_m=U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m=U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
Du gaz réel au gaz parfait.	Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression. Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v). Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	Définir le système. Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.	Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat. Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q . Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange. Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU .
Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne. Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T . Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de capacité thermique.

	Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une enthalpie de transition de phase.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{\text{ech}} + S_{\text{créé}}$ avec $S_{\text{ech}} = \sum Q_i/T_i$	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité. Approche documentaire : interpréter qualitativement l'entropie en terme de désordre en s'appuyant sur la formule de Boltzmann.
Variation d'entropie d'un système. Loi de Laplace. Cas particulier d'une transition de phase.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie. Exploiter l'extensivité de l'entropie. Citer la loi de Laplace et ses conditions d'application. Énoncer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme. Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

3. Statique des fluides

Présentation et objectifs généraux de formation

La physique des milieux continus constitue une part importante des programmes de deuxième année. Dans ce domaine, on fait appel à des méthodes de pensée et des techniques de calcul qu'il est souhaitable d'aborder dès la première année. Cette partie du programme est donc conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine

physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Partant du cas particulier de la statique des fluides dans le champ de pesanteur qui ne nécessite qu'un formalisme minimal, un des objectifs est de montrer à la fin de cette partie l'intérêt d'un formalisme plus poussé (introduction de l'opérateur gradient) pour passer à une formulation universelle d'une loi de la physique.

La statique des fluides permet également d'introduire le facteur de Boltzmann dont on affirmera la généralité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Éléments de statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Distinguer le statut des forces de pression et des forces de pesanteur.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dp/dz = -\rho g$.	Citer des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann. Approche documentaire : identifier un facteur de Boltzmann. Comparer $k_B T$ aux écarts d'énergie dans un contexte plus général.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Évaluer une résultante de forces de pression.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède. Exploiter la loi d'Archimède.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Équation locale de la statique des fluides.	Établir l'équation locale de la statique des fluides.

4. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants pour lesquels seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de terminale dans les séries technologiques.

Elle s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de

restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Elle a pour objectif d'installer les concepts de base permettant de modéliser les phénomènes de conversion électromagnétique. Le point de vue adopté cherche donc à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace.

L'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs ;
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant ;
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur ;
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte ;
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques ;
- effectuer des bilans énergétiques ;
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs ;
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction.

La **partie 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de terminale et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Approche numérique : tracer des lignes de champ à partir d'équations fournies. Décrire l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et citer son expression.

Dans la **partie 2. « Forces de Laplace »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire d'une barre en translation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Forces de Laplace	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Établir l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.

La **partie 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = - \frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday	
Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modulation de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

La **partie 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur parfait et propose une approche documentaire de la production et du transport de l'énergie électrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre. Étude énergétique.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé. Transformateur de tension parfait. Étude énergétique.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Approche numérique : résoudre le système d'équations. Établir la « loi des tensions ». Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
Production et transport de l'énergie électrique.	Approche documentaire : <ul style="list-style-type: none"> – mobiliser les connaissances acquises pour expliquer le principe d'une chaîne de production et de transport d'énergie électrique – citer des ordres de grandeur de la puissance consommée ou produite par une lampe, un téléviseur, un radiateur électrique, une éolienne, un barrage, une centrale nucléaire

La partie 5. « **Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire** » est centrée sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique Rail de Laplace.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe.

	<p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.</p>
<p>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique</p> <p>Haut-parleur électrodynamique.</p>	<p>Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace.</p> <p>Effectuer un bilan énergétique.</p> <p>Mettre en œuvre une étude expérimentale d'un haut parleur électrodynamique visant à illustrer son principe de fonctionnement ou à déterminer quelques-unes de ses caractéristiques.</p>

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Polariseur dichroïque
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Multiplieur analogique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Dynamomètre
- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Pour le cas où d'autres outils seraient ponctuellement nécessaires, il conviendrait de les mettre à disposition des candidats sous une forme opérationnelle (formulaires...) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Équation différentielle linéaire à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle $x \rightarrow x^a$. Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (les fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt . Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1 + x)^a$, e^x , $\ln(1 + x)$ et $\sin(x)$, et à l'ordre 2 de la fonction $\cos(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier <u>fourni</u> par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace.

	Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole. (Concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques).
Courbes planes paramétrées.	Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles dans un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
6. Analyse vectorielle	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction f est perpendiculaire aux surfaces iso- f et orienté dans le sens des valeurs de f croissantes. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques.

Programme de chimie TPC1

Le programme de chimie de la classe de TPC1 s'inscrit entre deux continuités, en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement avec les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

À travers l'enseignement de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la chimie est avant tout une science expérimentale, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité..

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TPC1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention de la solution. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

- dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.
- dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.

Deux appendices sont consacrés aux types de matériel et aux outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de TPC1.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou

des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en chimie doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et physique.

L'évaluation des étudiants doit répondre aux principes suivants :

- informé des compétences testées dans les différentes formes d'évaluation, l'étudiant doit être en mesure de suivre son évolution dans l'acquisition des compétences ;
- l'objectif de l'évaluation n'est pas de classer ou de trier les étudiants, mais de leur donner une image de leurs acquis en mettant l'accent sur les progrès réalisés. Une évaluation bien conçue doit être stimulante en s'inscrivant dans une dynamique constructive et une perspective d'évolution positive.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux composantes de la démarche expérimentale s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. Ce programme fait donc une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, ainsi que d'un réel savoir-faire dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie ;
- le second concerne l'identification, tout au long de la formation disciplinaire, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées ;

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie (modélisation macroscopique-microscopique, relation structure-propriétés, facteurs d'influence, par exemple).
- les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans l'élaboration et la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement

en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous et dont l'acquisition progressive a commencé au collège, puis au lycée. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire dans toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, être autonome, travailler en équipe, etc.)

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale énoncer une problématique d'approche expérimentale définir des objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> formuler et échanger des hypothèses proposer une stratégie pour répondre à la problématique proposer un modèle associé choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> mettre en œuvre un protocole utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes confronter un modèle à des résultats expérimentaux confirmer ou infirmer une hypothèse, une information analyser les résultats de manière critique proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible utiliser un vocabulaire scientifique adapté s'appuyer sur des schémas, des graphes faire preuve d'écoute, confronter son point de vue

Être autonome, faire preuve d'initiative

- travailler seul ou en équipe
- solliciter une aide de manière pertinente
- s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation, les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de bien préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheurs ou d'ingénieurs. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

Concernant la compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** », elle est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et à l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances et capacités en autonomie afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et le regard critique tout au long de la démarche et sur le résultat.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.

Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie et avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^e et XXI^e siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du « savoir scientifique » (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la méthodologie expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) du baccalauréat STL, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et mises en œuvre en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans l'appendice 1 du présent programme.

1. Mesures et incertitudes

L'importance de la composante expérimentale de la formation des étudiants des CPGE scientifiques est réaffirmée. Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les élèves doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières S, STI2D et STL du lycée. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Les élèves doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la

<p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur (résistance, multimètre, oscilloscope, thermomètre, verrerie...).</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
<p>Présentation d'un résultat expérimental.</p> <p>Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage (ou processus de mesure).</p>	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Commenter qualitativement le résultat d'une mesure en le comparant, par exemple, à une valeur de référence.</p> <p>Analyser les sources d'erreurs et proposer des améliorations du processus de mesure.</p>
<p>Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.</p>	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

2. Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant les séances de travaux pratiques, à l'issue des deux années. Une séance de travaux pratiques s'articule autour d'une problématique, que les thèmes – repérés en gras dans le corps du programme – peuvent servir à définir.

Les capacités rassemblées ici ne constituent donc en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'organiseraient autour d'une découverte du matériel. Par exemple, toutes les capacités mises en œuvre autour d'un appareil de mesure ne sauraient être l'objectif unique d'une séance, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Les différentes capacités à acquérir sont, pour plus de clarté, regroupées en quatre domaines en chimie, les deux premiers étant davantage transversaux :

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie
2. Mesures de grandeurs physiques
3. Synthèses organiques et inorganiques
4. Analyses qualitatives et quantitatives

Cela ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul domaine. En effet, lors de la mise en œuvre d'une synthèse au laboratoire, il peut être utile de procéder à une analyse du produit formé ou à une mesure de grandeur physique caractéristique et, bien entendu, il est indispensable de prendre en compte les consignes de sécurité. Il convient également de favoriser l'autonomie et la prise d'initiative décrites dans la partie « Compétences expérimentales ».

Le matériel nécessaire à l'acquisition de l'ensemble des capacités ci-dessous figure en **Appendice 1** du programme.

1. Prévention du risque au laboratoire de chimie

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité leur permettent de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P.	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2. Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise.

- Masse	Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus.
- pH	
- Conductance et conductivité	Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé.
- Tension	
- Intensité d'un courant	Distinguer les instruments de verrerie In et Ex.
- Température	
- Pouvoir rotatoire	Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, température, indice de réfraction, absorbance) en s'aidant d'une notice.
- Indice de réfraction	
- Absorbance	Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.

3. Synthèses organiques et inorganiques

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser expérimentalement les différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages ;
- connaître les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées (à l'exception des spectroscopies d'absorption IR et de RMN) ;
- être capable de proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Les différentes techniques utilisées permettent de réaliser les opérations de :

- chauffage et refroidissement ;
- séparation et purification : extraction liquide-liquide ou liquide-solide, filtrations, séchage d'un liquide ou d'un solide, distillations sous pression ambiante et sous pression réduite (cette dernière étant strictement limitée à l'usage de l'évaporateur rotatif), recristallisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat.
Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel.	Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur.
Suivi de l'évolution de la transformation.	Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux.

	Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
Séparation et purification	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'un produit, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures expérimentales.
Séparation de deux liquides non miscibles.	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter.
Séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.	Distinguer extraction et lavage d'une phase. Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Distillations	Mettre en œuvre différents types de distillation. Choisir ou proposer la méthode la plus adaptée au système étudié.
Séparation d'un liquide et d'un solide	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif. Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.
Lavage d'un solide	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage froid ou saturé, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Adapter la quantité de solvant à utiliser à la recristallisation réalisée. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un solide	Mettre en œuvre « une pesée à masse constante » d'un solide humide.
Séchage d'un liquide	Choisir un desséchant solide et estimer correctement par l'observation la quantité à utiliser.
Détermination d'un rendement	À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.

4. Analyses qualitatives et quantitatives

On distinguera la caractérisation, le contrôle de pureté et le dosage d'une espèce chimique.

À l'issue des deux années de formation, l'élève devra :

- maîtriser les différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives ;
- être capable de proposer une stratégie de mesures de concentrations ou de quantités de matière, une méthode de caractérisation d'un composé, tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié ;
- distinguer les méthodes d'analyse destructives et non destructives.

Les techniques utilisées lors des analyses quantitatives sont les suivantes :

- pH-métrie
- Conductimétrie
- Potentiométrie à intensité nulle
- Spectrophotométrie UV-visible
- Polarimétrie
- Réfractométrie
- Chromatographie sur couche mince

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>1. Caractérisation d'un composé et contrôle de sa pureté Chromatographies sur couche mince.</p> <p>Tests de reconnaissance ; témoin.</p> <p>Détermination expérimentale de grandeurs physiques ou spectroscopiques caractéristiques du composé (les principes théoriques de la RMN et de la spectroscopie d'absorption IR sont hors programme).</p>	<p>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince. Justifier la méthode de révélation utilisée.</p> <p>Interpréter l'ordre d'éluion des différents composés en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant. Proposer à partir d'une banque de données et mettre en œuvre un test de reconnaissance pour identifier une espèce chimique présente (ou susceptible de l'être) dans un système.</p> <p>Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des produits. Relever la température d'un palier de distillation. Mesurer une température de fusion. Mesurer un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire.</p> <p>Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'un produit synthétisé avec celles du produit commercial.</p>
<p>2. Dosages par étalonnage</p>	<p>Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-Visible.</p>
<p>3. Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.</p>	<p>Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect.</p>

Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	<p>Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage.</p> <p>Exploiter une courbe de titrage pour déterminer le titre en espèce dosée.</p> <p>Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de répartitions et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.</p> <p>Justifier la nécessité de faire un titrage indirect.</p> <p>Distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage.</p> <p>Déterminer les conditions optimales qui permettent à l'équivalence et au repérage de la fin du titrage de coïncider.</p>
<p>4. Suivi cinétique de transformations chimiques</p> <p>Suivi en continu d'une grandeur physique.</p> <p>Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement.</p> <p>Régulation de la température.</p>	<p>Choisir une méthode de suivi tenant compte de la facilité de mise en œuvre, des propriétés des composés étudiés, du temps de réaction estimé ou fourni.</p> <p>Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.</p> <p>Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse.</p> <p>Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.</p>

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé, par exemple :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière. Les domaines d'activités qui se prêtent particulièrement à la simulation sont les titrages en solution aqueuse, la cristallographie, la modélisation moléculaire, la cinétique chimique. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé.
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur.
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Contenus disciplinaires

L'organisation de la formation disciplinaire est semestrielle :

Premier semestre

- I. Transformation de la matière
 1. Description et évolution d'un système vers un état final

2. Évolution temporelle d'un système et mécanismes réactionnels
- II. Architecture de la matière
1. Classification périodique des éléments et électronégativité
 2. Structure des molécules et relations structure-propriétés
- III. Structure en chimie organique

Deuxième semestre

- IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins
- V. Transformations chimiques en solutions aqueuses
- VI. Réactivité et synthèses en chimie organique 2

Premier Semestre

I. Transformation de la matière

La chimie est une science de la nature, science de la matière et de sa transformation. Les différents états de la matière et les différents types de transformation de la matière ont déjà été en partie étudiés dans le parcours antérieur de l'élève, au collège et au lycée. Il s'agit de réactiver et de compléter ces connaissances déjà acquises, afin d'amener les élèves à les mobiliser de manière autonome pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Dans ce cadre, on se limite à un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Sur des exemples variés de transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, dans le monde du vivant ou en milieu industriel, l'objectif visé est la prévision du sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes et la détermination de leur composition dans l'état final. Dans un souci de continuité de formation, les acquis du lycée concernant les réactions acido-basiques et d'oxydo-réduction, la conductimétrie, la pH-métrie et les spectroscopies sont réinvestis lors des démarches expérimentales. L'ensemble des compétences relatives à cette partie du programme sera ensuite mobilisé régulièrement au cours de l'année, plus particulièrement au second semestre lors des transformations en solution aqueuse, et en seconde année, notamment dans le cadre de l'étude de la thermodynamique chimique.

L'importance du facteur temporel dans la description de l'évolution d'un système chimique apparaît assez significativement dans l'observation du monde qui nous entoure et a déjà fait l'objet d'une première approche expérimentale en classe de première STL permettant de dégager les différents facteurs cinétiques que sont les concentrations, la présence ou non d'un catalyseur et la température. La prise de conscience de la nécessité de modéliser cette évolution temporelle des systèmes chimiques est naturelle. Si la réaction chimique admet un ordre, le suivi temporel de la transformation chimique doit permettre l'établissement de la loi de vitesse. Cette détermination fait appel à la méthode différentielle ou à la méthode intégrale, pour l'exploitation de mesures expérimentales d'absorbance ou de conductivité du milieu réactionnel par exemple, dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité. Les équations différentielles étant abordées en mathématiques en terminale STL mais non utilisées en physique-chimie au lycée, il conviendra de faire le lien entre les notations utilisées en mathématiques ($y'+ay=b$) et celles adoptées en chimie.

La modélisation au niveau microscopique d'une transformation chimique par un mécanisme réactionnel complète l'étude cinétique macroscopique et permet d'aborder la notion de catalyse ; des exemples de catalyses homogènes, hétérogènes et enzymatiques seront également présentés dans cette partie du programme.

Une ouverture à la cinétique en réacteur ouvert, dans un cadre très limité, permet en complément d'appréhender la différence d'approche à l'échelle industrielle.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Faire preuve de rigueur dans la description d'un système physico-chimique
- Distinguer modélisation d'une transformation (écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation.
- Exploiter les outils de description des systèmes chimiques pour modéliser leur évolution temporelle.
- Proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence.
- Confronter un modèle mathématique avec des mesures expérimentales.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1 Description et évolution d'un système chimique vers un état final	
Transformations de la matière Transformations physique, chimique, nucléaire.	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître la nature d'une transformation.
Transformations physiques États de la matière : gaz, liquide, solide cristallin, solide amorphe et solide semi-cristallin. Modélisation microscopique des états physiques. Notion de phase. Les transformations physiques : diagramme d'état (P , T). Fluides supercritiques : principales propriétés, utilisation en génie des procédés.	<ul style="list-style-type: none"> • Nommer les transformations relatives au changement d'état. • Reconnaître une transformation allotropique. • Modéliser un état physique et une transformation physique. • Déterminer l'état physique d'une espèce chimique pour des conditions expérimentales données de P et T. <p>Approche documentaire : à partir de documents, analyser le rôle des fluides supercritiques en génie des procédés dans le cadre d'une chimie respectueuse de l'environnement.</p>
Système chimique Constituants physico-chimiques. Corps purs et mélanges : concentration molaire, fraction molaire, pression partielle. Composition d'un système chimique.	<ul style="list-style-type: none"> • Recenser les constituants physico-chimiques présents dans un système. • Utiliser l'équation d'état du gaz parfait pour les composés gazeux. • Décrire la composition d'un système chimique à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.
Transformation chimique Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques. Réaction chimique : équation chimique, avancement.	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier la (ou les) réaction(s) qui modélise(nt) une transformation chimique. • Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial, dans un état intermédiaire quelconque.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Évolution d'un système lors d'une transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique : quotient réactionnel, activité, critère d'évolution.</p> <p>Equation de réaction : constante d'équilibre</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure ou dans un mélange dans le cas de solutions aqueuses très diluées ou de mélange de gaz parfaits. • Exprimer le quotient réactionnel. • Prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique ; état d'équilibre. <p>• Déterminer une constante d'équilibre ; dégager le critère d'évolution.</p>
<p>Composition du système dans l'état final : état d'équilibre chimique, transformation totale.</p> <p>Optimisation d'un procédé industriel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. <p>• Approche documentaire : à partir de documents sur un procédé industriel, rechercher les paramètres sur lesquels on peut jouer pour optimiser le rendement d'une synthèse.</p>
2 Evolution temporelle des systèmes chimiques et mécanismes réactionnels	
En réacteur fermé de composition uniforme	
<p>Définition générale de la vitesse d'une réaction chimique dans le cas d'un réacteur fermé de composition uniforme : vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit, vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer l'influence d'un paramètre sur la vitesse d'une réaction chimique. • Relier la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit.
<p>Lois de vitesse ; réactions sans ordre, réactions avec ordre simple, ordre global, ordre apparent.</p> <p>Temps de demi-réaction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une loi de vitesse à partir du suivi temporel d'une grandeur physique. • Déterminer la vitesse de réaction à différentes dates en utilisant une méthode numérique ou graphique. • Reconnaître une réaction avec ordre, sans ordre. • Évaluer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou à l'aide des temps de demi-réaction. • Donner une expression générale de la loi de vitesse quand la réaction chimique admet un ordre. • Confirmer, par la méthode intégrale, la valeur d'un ordre simple (0, 1, 2) dans la loi de vitesse. • Choisir ou reconnaître des conditions expérimentales provoquant une dégénérescence de l'ordre

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation nucléaire : désintégration radioactive ; activité, constante radioactive, temps de demi-vie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur travaille en dégénérescence d'ordre. • Établir une expression simplifiée de la loi de vitesse quand l'expérimentateur a introduit les réactifs en proportions stœchiométriques. • La loi de vitesse étant connue, déterminer une valeur de la constante cinétique à une température donnée. <p>• Approche documentaire : à partir de documents, appréhender les principales problématiques liées à l'utilisation de produits radioactifs.</p>
<p>Loi empirique d'Arrhénius ; énergie d'activation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer la valeur de l'énergie d'activation d'une transformation chimique à partir de la donnée des valeurs de la constante cinétique à différentes températures. • Déterminer la valeur de la constante cinétique à une température T_1 à partir de la donnée de l'énergie d'activation de la réaction et de la valeur de la constante cinétique à la température T_0. • Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier l'influence de la température sur la vitesse et de déterminer une énergie d'activation d'une réaction chimique.
<p>Interprétation microscopique de l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'une transformation chimique. Limite de la modélisation macroscopique par une réaction chimique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la vitesse d'une réaction à la fréquence de chocs efficaces. • Interpréter les effets des différents paramètres influençant la vitesse sur la fréquence des chocs efficaces.
Mécanismes réactionnels	
<p>Mécanismes réactionnels en cinétique homogène : processus élémentaire, moléularité d'un processus, intermédiaires réactionnels, état de transition, mécanisme réactionnel par stades, mécanisme réactionnel en chaîne</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguer une équation de réaction symbolisant une réaction chimique d'une équation traduisant un acte élémentaire. • Identifier les intermédiaires réactionnels, les réactifs, les produits, les catalyseurs dans un mécanisme réactionnel. • Discuter de la stabilité relative d'intermédiaires réactionnels rencontrés en chimie organique. • Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un état de transition (complexe activé).

Notions et contenus	Capacités exigibles
	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer la loi de vitesse d'un acte élémentaire. • Tracer un profil énergétique correspondant à un acte élémentaire, à deux actes élémentaires successifs. • Identifier un mécanisme par stades, en chaîne. • Identifier les différentes étapes d'un mécanisme réactionnel en chaîne.
<p>Approximations classiques : pré-équilibre rapide, étape cinétiquement déterminante, approximation de l'état quasi-stationnaire (AEQS).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Approche numérique : utiliser les résultats d'une méthode numérique pour mettre en évidence les approximations de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'état quasi-stationnaire. • Reconnaître les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'Approximation des états quasi-stationnaire. • Établir la loi de vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit à partir d'un mécanisme réactionnel en utilisant éventuellement les approximations classiques.
<p>Interprétation du rôle d'un catalyseur Différents types de catalyse : homogène, hétérogène, enzymatique. Exemples de catalyse : acide-base hydrogénation des alcènes, modèle simple de Michaelis-Menten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître un catalyseur dans un mécanisme réactionnel et un effet catalytique dans un profil énergétique. • Établir la loi de vitesse dans le cadre du modèle de Michaelis -Menten.
Approche de la cinétique en réacteur ouvert	
<p>Réacteur ouvert parfaitement agité continu fonctionnant en régime permanent, dans le cas où les débits volumiques d'entrée et de sortie sont égaux. Temps de passage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer la vitesse de disparition d'un réactif ou de formation d'un produit, l'équation différentielle traduisant le bilan de matière pour un réactif ou un produit étant donnée. • Établir la loi de vitesse à partir de mesures fournies.

II. Architecture de la matière

Décrivant la matière au niveau macroscopique par des espèces chimiques aux propriétés physiques et chimiques caractéristiques, le chimiste la modélise au niveau microscopique par des entités chimiques dont la structure électronique permet de rendre compte et de prévoir diverses propriétés.

L'étude proposée dans cette partie du programme est centrée sur la classification périodique des éléments, outil essentiel du chimiste, dans l'objectif de développer les compétences relatives à son utilisation : extraction des informations qu'elle contient, prévision de la réactivité des corps simples, prévision de la nature des liaisons chimiques dans les corps composés, etc. On se limite, en première année, aux principales caractéristiques de la liaison chimique à l'exclusion de modèles plus élaborés comme la théorie des orbitales moléculaires qui sera étudiée en seconde année.

Depuis le collège et tout au long du lycée, les élèves ont construit successivement différents modèles pour décrire la constitution des atomes, des ions et des molécules. L'objectif de cette partie est de continuer à affiner les modèles des diverses entités chimiques isolées pour rendre compte des propriétés au niveau microscopique (longueur de liaison, polarité...) ou macroscopique (solubilité, température de changement d'état, ...). Les connaissances déjà acquises sont réactivées et complétées :

- Dans le cadre du modèle de Lewis, deux nouveautés sont introduites : les extensions de la règle de l'octet et le concept de délocalisation électronique, à travers le modèle de la mésomérie. Dans ce dernier cas, les compétences sont d'une part de repérer les situations où l'écriture de formules mésomères est nécessaire et, d'autre part, d'interpréter les propriétés des molécules à électrons délocalisés.
- L'électronégativité, introduite en classe de première, est abordée en s'appuyant sur une approche expérimentale : réactions d'oxydo-réduction, propriétés de corps composés en lien avec la nature de la liaison chimique. Elle est prolongée par la présentation de l'existence d'échelles numériques, notamment celle de Pauling, mais la connaissance de leurs définitions n'est pas exigible.
- La polarité des molécules a été abordée et utilisée dès la classe de première STL, mais pas l'aspect vectoriel du moment dipolaire, qui est souligné ici. La notion de moment dipolaire sera réinvestie ultérieurement en physique. Aucune compétence sur l'addition de vecteurs non coplanaires n'est exigible.
- La description des forces intermoléculaires est complétée pour développer les capacités d'interprétation ou de prévision de certaines propriétés physiques ou chimiques (température de changement d'état, miscibilité, solubilité) prenant en considération l'existence de telles forces. La notion de liaison hydrogène intramoléculaire est également introduite.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés (oxydo-réduction, solubilité, aptitude à la complexation, polarité, polarisabilité...);
- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- S'approprier les outils de description des entités chimiques (liaison covalente, notion de nuage électronique...) et leur complémentarité dans la description des interactions intermoléculaires ;
- Appréhender la notion de solvant, au niveau microscopique à travers les interactions intermoléculaires et au niveau macroscopique par leur utilisation au laboratoire, dans industrie et dans la vie courante.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1 Classification périodique des éléments et électronégativité	
Structure électronique des entités monoatomiques	
Atomes et éléments. Isotopes, abondance isotopique, stabilité.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un vocabulaire précis : élément, corps simple, corps composé, espèce chimique, entité chimique. • Donner la constitution d'un atome et de son noyau, à partir du numéro atomique Z et du nombre de masse

	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les ordres de grandeur de la taille d'un atome, des masses et des charges de l'électron et des nucléons. • Reconnaître des nucléides isotopes.
Quantification de l'énergie et spectroscopies (UV-visible, IR, RMN)	<ul style="list-style-type: none"> • Associer un type de transition énergétique au domaine du spectre électromagnétique correspondant. • Déterminer la longueur d'onde d'une radiation émise ou absorbée à partir de la valeur de la transition énergétique mise en jeu, et inversement.
Nombres quantiques n , l , m_l et m_s .	<ul style="list-style-type: none"> • Établir un diagramme qualitatif des niveaux d'énergie électronique d'un atome donné. • Reconnaître si un quadruplet $\{n, l, m_l, m_s\}$ est possible ou non.
Configuration électronique d'un atome dans son état fondamental. Configuration électronique d'un ion monoatomique dans son état fondamental. Électrons de cœur et de valence.	<ul style="list-style-type: none"> • Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental (la connaissance des exceptions à la règle de Klechkowski n'est pas exigible). • Reconnaître la configuration électronique de l'état fondamental ou d'un état excité d'un atome. • Déterminer le nombre d'électrons célibataires d'un atome dans son état fondamental. • Prévoir la formule des ions monoatomiques d'un élément et déterminer leur configuration électronique.
Classification périodique des éléments	
Architecture et lecture du tableau périodique	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la position d'un élément dans la classification périodique à sa configuration électronique et au nombre d'électrons de valence de l'atome correspondant (et inversement). • Situer dans le tableau périodique les familles d'éléments suivantes et énoncer leurs caractéristiques : métaux alcalins et alcalino-terreux, halogènes et gaz nobles. • Citer les éléments contenus dans les trois premières périodes de la classification et dans la colonne des halogènes (nom, symbole, numéro atomique).

Électronégativité et évolution dans le tableau périodique	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre des expériences illustrant le caractère oxydant ou réducteur de certains corps simples. • Élaborer ou mettre en œuvre un protocole permettant de montrer qualitativement l'évolution du caractère oxydant dans une colonne. • Relier le caractère oxydant ou réducteur d'un corps simple à l'électronégativité de l'élément. • Comparer l'électronégativité de deux éléments selon leur position dans le tableau périodique.
Liaison métallique, covalente et ionique.	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguer un métal et un non-métal. • Localiser les métaux et les non-métaux dans le tableau périodique (placer approximativement la frontière). • Citer des exemples de métaux, de métaux nobles. • Citer des exemples de métalloïdes. • Mettre en œuvre des expériences montrant l'évolution du caractère ionique et du caractère covalent des liaisons : solubilité dans l'eau des halogénures ou des oxydes, propriétés acido-basiques des oxydes... • Lier la nature de la liaison chimique à la différence d'électronégativité des atomes engagés.
Rayon atomique. Rayon ionique.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter l'évolution du rayon atomique dans la classification périodique en utilisant la notion qualitative de nombre de charge effectif. • Interpréter l'évolution du rayon entre un atome et ses ions.
2 Structure électronique des molécules et relation structure-propriétés	
Structures de Lewis des entités polyatomiques	
Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Liaison covalente localisée et délocalisée.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les ordres de grandeur de la longueur et de l'énergie d'une liaison covalente. • Vérifier la règle de l'octet pour une structure de Lewis donnée. • Identifier les écarts à la règle de l'octet : lacune, hypervalence. • Établir qu'une entité est un radical ou un acide ou une base de Lewis. • Attribuer la charge formelle à chaque atome dans une structure donnée.

	<ul style="list-style-type: none"> • Établir le schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique simple. • Reconnaître des doublets conjugués dans une molécule ou un ion polyatomique. • Relier l'évolution des nombres d'onde d'absorption dans l'IR à la présence de groupes caractéristiques conjugués. • Dans des cas simples, reconnaître les cas de liaisons délocalisées et identifier la (ou les) formules mésomères la (les) plus représentative(s). • Représenter un hybride de résonance. • Prévoir les conséquences de la délocalisation (longueurs de liaisons, délocalisation de la charge...). • Mettre en évidence une éventuelle délocalisation à partir de données expérimentales.
Géométrie des molécules : prévision par la méthode VSEPR.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître et représenter les types structuraux AX_n, avec 2 ≤ n ≤ 6. • Pour n=3 et n=4, connaître et représenter les types dérivés de AX_n = AX_pE_q et prévoir les déformations angulaires.
Liaison polarisée Molécule polaire Moment dipolaire d'une molécule.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir le moment dipolaire d'une molécule diatomique AB et connaître l'ordre de grandeur du Debye. • Déterminer le pourcentage d'ionicité d'une liaison AB à partir du moment dipolaire et de la longueur de liaison. • Dédire de la géométrie d'une molécule la valeur nulle ou non nulle de son moment dipolaire. • Représenter le vecteur moment dipolaire d'une molécule.
Forces intermoléculaires	
Interactions de Van der Waals Liaison hydrogène.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir qualitativement la polarisabilité d'une molécule. • Identifier des situations dans lesquelles une liaison hydrogène peut s'établir entre deux molécules. • Connaître l'ordre de grandeur de l'énergie d'une liaison hydrogène et de Van der Waals. • Interpréter la différence de température de changement d'état et la différence de solubilité dans un solvant donné entre deux corps purs moléculaires.

	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter l'influence de la présence de liaisons hydrogène sur les signaux en spectroscopie infra-rouge. • Identifier des situations où des liaisons hydrogène intramoléculaires peuvent s'établir. • Interpréter l'influence des forces intermoléculaires sur la température de changement d'état des corps purs ou sur les propriétés conformationnelles. • Interpréter la migration relative d'espèces chimiques en chromatographie sur couche mince.
Solvants	
<p>Solvants moléculaires</p> <p>Grandeurs caractéristiques d'un solvant : moment dipolaire, permittivité relative</p> <p>Types de solvants : polaire, apolaire, protique (ou protogène), aprotique, basique (Lewis).</p> <p>Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou ionique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Définir la permittivité relative d'un solvant. • Reconnaître à quelle catégorie appartient un solvant. • Décrire la mise en solution d'un solide ionique et connaître les caractéristiques du solvant qui la favorisent. • Comparer et interpréter les solubilités de différentes espèces chimiques dans l'eau (ou dans un solvant organique) en termes d'interactions intermoléculaires. • Interpréter la miscibilité ou non de deux solvants. • Choisir un solvant adapté à la dissolution d'une espèce donnée, à la mise en œuvre de certaines réactions, à la réalisation d'une extraction, et aux principes de la chimie verte. • Elaborer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer la valeur d'une constante de partage.
Autres solvants.	<ul style="list-style-type: none"> • Approche documentaire : les solvants ioniques.

Structure en chimie organique

. L'objectif de cette partie qui s'inscrit dans la continuité du programme du secondaire, est d'une part, de se doter d'outils pour décrire les molécules dans l'espace, les caractériser, et d'autre part d'entrevoir l'importance de la stéréochimie dans la nature et dans les applications au laboratoire. Ce socle sera réinvesti au cours du deuxième semestre pour aborder la réactivité en chimie organique et les stratégies de synthèse.

Sans donner lieu à une étude systématique, la nomenclature UICPA des composés, déjà mise en place dans le secondaire, est utilisée au fur et à mesure des besoins. En première année, le passage du nom à tous les types de formules ou de représentations pourra être exigé.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Pratiquer un raisonnement qualitatif rigoureux ;
- Relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques ;
- Maîtriser et utiliser différentes représentations schématiques d'une entité chimique ;
- Relier la mesure et la forme d'un signal physique à des caractéristiques structurales microscopiques de l'espèce chimique étudiée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Description des molécules organiques	
<p>Représentations topologique, perspective, de Cram, de Fischer, projection de Newman.</p> <p>Descripteurs stéréochimiques <i>R</i>, <i>S</i>, <i>Z</i>, <i>E</i>, <i>D</i> et <i>L</i>.</p> <p>Isomérisation de constitution.</p> <p>Stéréoisomérisation de configuration : énantiomérisation, diastéréoisomérisation (atropoisomérisation exclue). Principe de la séparation des énantiomères.</p> <p>Stéréoisomérisation de conformation : chaînes carbonées, cyclohexane substitué ou non.</p> <p>Séparation d'énantiomères et synthèse stéréosélective.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traduire par un nom la formule semi-développée (ou topologique) d'une molécule simple, au maximum bifonctionnelle, et réciproquement. • Représenter en deux dimensions une molécule à partir de son nom sans perdre les informations spatiales, en utilisant un type de représentation donnée. • Savoir passer d'un type de représentation spatiale d'une molécule à une autre. • Déterminer si une molécule est chirale. • Attribuer les descripteurs stéréochimiques de centres stéréogènes. • Définir la relation d'isomérisation entre deux structures moléculaires à partir d'un type de représentation donnée. • Dénombrer les stéréoisomères de configuration d'un composé. • Comparer la stabilité relative des plusieurs conformations. • Interpréter la stabilité d'un conformère donné. • Identifier et représenter en deux dimensions, en s'aidant éventuellement de modèles moléculaires ou d'un logiciel de représentation et/ou de simulation, le(s) conformère(s) le(s) plus stable(s) pour une molécule donnée. • Approche documentaire : illustrer et analyser le rôle essentiel de la diastéréoisomérisation lors de synthèses énantiosélectives et de séparations d'énantiomères.
Analyses polarimétrique et spectroscopique en chimie organique	
<p>Activité optique, pouvoir rotatoire. Loi de Biot</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pratiquer une démarche expérimentale utilisant l'activité optique d'une espèce chimique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectroscopies d'absorption UV-visible et IR. Spectroscopie de RMN du proton : - déplacement chimique et constante de couplage - spectres du premier ordre de type A_mX_p , $A_mM_pX_q$	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la valeur du pouvoir rotatoire d'un mélange d'énantiomères à sa composition. • Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer une concentration par spectroscopie UV-Visible. • Établir ou confirmer une structure à partir de tables de données spectroscopiques (nombres d'onde, déplacements chimiques, constantes de couplage).

Second Semestre

IV. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Ce chapitre constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
<p>Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.</p> <p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. • Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. • Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. • Relier le rayon métallique, covalent, de Van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. • Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques. <ul style="list-style-type: none"> • Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. • Approche documentaire : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.
<p>Métaux et cristaux métalliques</p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle CFC et ses sites interstitiels.</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement. • Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité. • Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux. <ul style="list-style-type: none"> • Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. • Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Solides macrocovalents et moléculaires	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les liaisons covalentes, les interactions de Van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée. • Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de Van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants. • Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies).
Solides ioniques	<ul style="list-style-type: none"> • Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques. • Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.

V. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydoréduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, présence ou non d'agents complexants, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL, et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de piles rencontrées dans le secondaire, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydoréduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse et sur les complexes acquises dans le secondaire sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, et que dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH et éventuellement potentiel-pL sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques, des phénomènes.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements, et de discuter de la pertinence des modèles de description des transformations en solution aqueuse.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactions d'oxydo-réduction Nombres d'oxydation.</p> <p>Exemples usuels d'oxydants et de réducteurs : nom, nature et formule des ions, permanganate, dichromate, hypochlorite, thiosulfate, du peroxyde d'hydrogène.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. • Prévoir le nombre d'oxydation extrême d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. • Représenter une pile et décrire son fonctionnement à partir de la mesure de la tension à vide ou des potentiels d'électrodes. • Construire des diagrammes de prédominance ou d'existence pour les différents couples d'oxydo-réduction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Piles et électrodes. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence</p> <p>Réactions d'oxydoréduction : aspect thermodynamique, dismutation et médiamutation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. • Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.
<p>Réactions acide-base et de complexation</p> <p>Réactions acide-base : constante d'acidité, Diagrammes de prédominance en fonction de pH Exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac.</p> <p>Réaction de complexation, constante de formation ou de dissociation, Complexes : définition Domaines de prédominance en fonction de pL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître si une réaction chimique donnée est une réaction d'oxydoréduction, acido-basique ou de complexation. • Construire des diagrammes de prédominance pour différents couples acide-base et pour des complexes successifs. • Extraire de ressources disponibles les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou interpréter des observations expérimentales. • Déterminer des constantes thermodynamiques par lecture de courbes de distribution (et réciproquement). • Déterminer la valeur de la constante thermodynamique pour une équation, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réaction de précipitation Réaction de précipitation : constante de solubilité K_s.</p> <p>Solubilité et condition de précipitation.</p> <p>Domaine d'existence.</p> <p>Facteur influençant la précipitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer Q_r et K_s ; en déduire si la solution est saturée ou non. • Construire les diagrammes d'existence • Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. • Déterminer la composition chimique du système chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre et de transformation totale, pour une transformation chimique modélisée par une réaction unique. En déduire la solubilité d'un sel peu soluble dans différents milieux. • Proposer ou mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de précipiter un ion donné ou de (re)dissoudre un précipité.
<p>Traitement des effluents dans une usine chimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Approche documentaire : à partir de documents décrivant le traitement des effluents d'une usine chimique, dégager les principales problématiques mises en jeu (nature des capteurs, valeurs limites pour des espèces polluantes...).
<p>Diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH simple</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH et potentiel-pL</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données. • Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH ou potentiel-pL. • Justifier la position d'une frontière verticale. • Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes ; • Discuter de la stabilité des espèces chimiques dans l'eau. • Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétique. • Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH

VI. Réactivité et synthèse en chimie organique

L'objectif de cette partie est d'apporter des compléments à l'ensemble des connaissances et compétences acquises en chimie organique au cycle terminal de la filière STL, pour d'une part faire comprendre les enjeux et la logique de la synthèse organique, et d'autre part décrire, analyser et modéliser les transformations organiques à l'échelle microscopique.

Les monohalogénoalcane sont choisis comme exemple de substrats pouvant subir des substitutions nucléophiles et des β -éliminations. Ils conduisent aussi à la formation

d'organométalliques, premier exemple de composés présentant un atome de carbone nucléophile et pouvant donner lieu à des additions nucléophiles sur des composés possédant une double liaison C=O. Les notions sont ainsi présentées sur des exemples donnés, mais dans le but d'une maîtrise permettant un réinvestissement sur des situations analogues. Ainsi, une présentation par mécanismes ou de type fonctionnelle peut être envisagée, au libre choix de l'enseignant.

Néanmoins, il s'agit de privilégier une approche mécanistique pour faire comprendre et maîtriser les raisonnements plutôt que pour empiler les connaissances.

La maîtrise des techniques courantes en chimie organique est renforcée par les séances de travaux pratiques choisies de manière à construire, en deux ans, une acquisition effective de l'ensemble des compétences expérimentales attendues.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Concilier l'application courante de principes généraux et leur adaptation à des cas spécifiques ou complexes ;
- Identifier, dans une entité chimique complexe, la partie utile au raisonnement ;
- Elaborer une stratégie d'adaptation pour résoudre un problème ;
- Pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer un schéma de synthèse ;
- Analyser des problèmes de complexité croissante.

Notions et contenus	Capacités attendues
<p>Réactivité et synthèse en chimie organique Nucléophile, électrophile. Nucléofuge. Acidité et de basicité (de Brønsted) des composés organiques. Réactivité des dérivés halogénés, alcools, amines, alcènes et organomagnésiens mixtes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier un site nucléophile, électrophile dans une entité chimique. • Classer des nucléophiles et des électrophiles par réactivité croissante. • Comparer la force des acides et des bases organiques. • Comparer l'électrophilie de deux sites en étudiant les nucléofuges.
<p>Différents types de réactions rencontrés en chimie organiques : substitution nucléophile, élimination, addition nucléophile, addition électrophile.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître dans une équation de réaction ou dans l'étape d'un mécanisme réactionnel, le type de réaction mis en oeuvre. • Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation simple en chimie organique.
<p>Mécanismes de substitution nucléophile. Mécanismes limites de substitution nucléophile bimoléculaire S_N2 et monomoléculaire S_N1 : propriétés cinétiques et stéréochimiques. Illustration sur l'exemple des RX, de la synthèse d'éthers par la méthode Williamson, l'action de HX sur les alcools, l'alkylation des amines, réaction de Wurtz des RMgX.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • À partir de résultats expérimentaux (cinétiques, stéréochimiques) ou l'analyse de facteurs structuraux des substrats, établir les mécanismes limites des réactions de substitution nucléophile et d'élimination en les adaptant aux substrats considérés.

Notions et contenus	Capacités attendues
<p>Mécanismes de β-élimination. Mécanismes limites de β-élimination bimoléculaire E_2 et monomoléculaire E_1 : propriétés cinétiques et stéréochimiques, régiosélectivité ; illustration sur RX (E_2), déshydratation des alcools (E_1).</p> <p>Mécanisme de β-élimination E_{1cb}. Illustration sur la réaction de crotonisation.</p> <p>Compétition substitution-élimination. Illustration sur les alcools.</p> <p>Contrôle cinétique-contrôle thermodynamique. Présentation du postulat de Hammond.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux. • Tracer, commenter et utiliser un diagramme énergétique à l'échelle microscopique. • Reconnaître les conditions d'utilisation du postulat de Hammond et prévoir l'obtention des produits lorsque deux transformations sont en compétition.
<p>Mécanisme d'addition électrophile. Addition électrophile sur les alcènes : action de X_2, HX, H_2O.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • Prévoir ou analyser la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelles d'une transformation simple en chimie organique en utilisant un vocabulaire précis et rigoureux.
<p>Mécanisme d'addition nucléophile. Action des organomagnésiens mixtes sur aldéhydes, cétones et dioxyde de carbone, dérivés d'acide hors nitriles.</p> <p>Intérêt des organométalliques dans la construction d'une chaîne carboné.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Écrire un mécanisme à l'aide du formalisme des flèches courbes représentant le déplacement des doublets électroniques. • Déterminer le produit formé dans une synthèse magnésienne et vice et versa déterminer les réactifs nécessaires à la synthèse magnésienne d'une entité donné. • Décrire et mettre en oeuvre un protocole de préparation d'un organomagnésien mixte • Mettre en oeuvre un protocole de synthèse magnésienne et en justifier les étapes et conditions expérimentales, y compris l'hydrolyse terminale.
<p>Stratégie de synthèse</p> <p>Approche élémentaire de la stratégie de synthèse : analyse rétrosynthétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir une stratégie de synthèse pour une molécule simple. • Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.

Appendice 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions

- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : Outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de TPC. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année ; il sera complété dans le programme de seconde année. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.

Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions.- Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.
--------------------------	---

2. Équations différentielles	
Équations différentielles linéaires à coefficients constants.	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$.	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \phi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$.	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt .	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement.
Développements limités.	Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques.

Valeur moyenne.	Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres. Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques).

Courbes planes paramétrées.	<p>Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.</p> <p>Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a \cdot \cos(\omega t)$, $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$.</p>
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	<p>Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</p> <p>(cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).</p>

5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	<p>Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire: relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels.</p> <p>Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.</p>
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

Programme de physique de la voie TPC2

Le programme de physique de la classe de TPC2 s'inscrit dans la continuité du programme de TPC1. Il s'appuie sur des champs disciplinaires variés : optique interférentielle, phénomènes de transports, mécanique des fluides, électromagnétisme, propagation d'ondes et propose en outre une introduction à la physique quantique. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de TPC2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de TPC2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique de la classe de TPC2 inclut celui de la classe de TPC1, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de TPC1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de TPC2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de TPC2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Trois appendices listent le matériel, les outils mathématiques et les outils transversaux que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique en fin de l'année de TPC2. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et chimie.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissent mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement.

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à

analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue. ...
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées. ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...

Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique des XX^e et XXI^e siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	- Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	- Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	- Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	- Faire preuve d'esprit critique

	<ul style="list-style-type: none"> - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

Partie 2 : Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de TPC2 durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante de TPC1 dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc naturellement au programme de seconde année TPC.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesures de longueurs et d'angles Caractéristiques spatiales d'un émetteur (ondes lumineuses, ondes acoustiques, ondes centimétriques...)	Construire l'indicatrice de rayonnement. Étudier la dépendance par rapport à la distance au récepteur.
2. Mesures de temps et de fréquences Fréquence ou période : <ul style="list-style-type: none"> • Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en utilisant une détection synchrone. Analyse spectrale.	Réaliser une détection synchrone élémentaire à l'aide d'un multiplieur et d'un passe-bas simple adapté à la mesure. Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.
3. Électricité Élaborer un signal électrique analogique : <ul style="list-style-type: none"> • modulé en fréquence 	Utiliser la fonction de commande externe de la fréquence d'un GBF par une tension (VCF).
4. Optique Analyser une lumière complètement	Identifier de façon absolue l'axe d'un polariseur par une

<p>polarisée.</p> <p>Étudier la cohérence temporelle d'une source.</p> <p>Mesurer une faible différence de nombre d'onde : doublet spectral, modes d'une diode laser.</p>	<p>méthode mettant en œuvre la réflexion vitreuse</p> <p>Identifier les lignes neutres d'une lame quart d'onde ou demi-onde, sans distinction entre axe lent et rapide.</p> <p>Modifier la direction d'une polarisation rectiligne.</p> <p>Obtenir une polarisation circulaire à partir d'une polarisation rectiligne, sans prescription sur le sens de rotation.</p> <p>Mesurer un pouvoir rotatoire naturel.</p> <p>Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue par une démarche autonome non imposée.</p> <p>Obtenir une estimation semi-quantitative de la longueur de cohérence d'une radiation à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.</p> <p>Réaliser la mesure avec un interféromètre de Michelson.</p>
<p>5. Mécanique</p> <p>Mesurer un moment d'inertie.</p> <p>Mesurer un coefficient de tension superficielle.</p>	<p>Repérer la position d'un centre de masse et mesurer un moment d'inertie à partir d'une période et de l'application de la loi d'Huygens fournie.</p>

Partie 3 : Formation disciplinaire

1. Optique

Présentation

Le programme de TPC2 s'inscrit dans la continuité de la rubrique « signaux physiques » du programme de TPC1. Dans la partie 1 on introduit les éléments spécifiques à l'émission, la propagation et la détection des ondes lumineuses. Puis les parties 2-4 traitent essentiellement des interférences lumineuses avec un cheminement naturel du simple au compliqué : partant des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle strictement monochromatique, on étudie ensuite l'évolution de la visibilité sous l'effet d'un élargissement spatial et spectral de la source. Le brouillage des franges précédentes sous l'effet d'un élargissement spatial conduit à montrer un des avantages de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue (franges d'égale inclinaison et franges d'égale épaisseur) en constatant expérimentalement l'existence d'un lieu de localisation des franges. L'objectif de cette partie n'est pas le calcul d'intensités de la lumière : on exploite le plus souvent les variations de l'ordre d'interférences (avec la position du point d'observation, la position du point source et la longueur d'onde) pour interpréter les observations sans expliciter l'intensité de la lumière.

L'analyse de Fourier joue un rôle important dans cette partie, d'une part dans le domaine temporel pour décomposer une onde réelle en ondes monochromatiques et d'autre part dans le

domaine spatial pour décomposer le coefficient de transmission d'une mire en un fond continu plus une somme de fonctions sinusoïdales. Comme dans l'ensemble du programme de TPC2 on se limite à une approche semi-quantitative. Il s'agit exclusivement :

- de décomposer un signal en composantes sinusoïdales sans chercher à expliciter les amplitudes et phases de ces composantes ;
- d'utiliser le fait que le spectre d'un signal périodique de fréquence f est constitué des fréquences nf avec n entier ;
- d'utiliser la relation en ordre de grandeur entre la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Objectifs généraux de formation

- Faire le lien entre des descriptions complémentaires en termes de rayons lumineux et en termes d'ondes ;
- utiliser les propriétés d'un récepteur de lumière pour distinguer ce qui est accessible directement à la mesure en optique (intensité, déphasage entre deux ondes) et ce qui ne l'est pas (phase d'une onde) ;
- utiliser l'analyse de Fourier et exploiter la notion de spectre ; transposer ces notions du domaine temporel au domaine spatial ;
- prendre conscience des enjeux métrologiques en mesurant à l'échelle humaine des grandeurs temporelles et spatiales du domaine microscopique ;
- prendre conscience de l'existence de phénomènes aléatoires (temps de cohérence d'une radiation émise par une source).

La partie 1 introduit les outils nécessaires. La réponse des récepteurs est environ proportionnelle à la moyenne du carré du champ électrique de l'onde. Le programme utilise uniquement le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » et « éclairement » sans chercher à les distinguer à ce niveau de formation. La loi de Malus (orthogonalité des rayons lumineux et des surfaces d'ondes dans l'approximation de l'optique géométrique) est admise. Dans le cadre de l'optique, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à la forme des surfaces d'ondes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
<p>α) Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.</p> <p>Chemin optique. Déphasage dû à la propagation.</p> <p>Surfaces d'ondes. Loi de Malus.</p> <p>Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.</p>	<p>Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.</p> <p>Exprimer le retard de phase en un point en fonction du retard de propagation ou du chemin optique.</p> <p>Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image.</p> <p>Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde.</p>
<p>β) Modèle d'émission. Approche expérimentale de la longueur de cohérence temporelle. Relation entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.</p>	<p>Classifier différentes sources lumineuses (lampe spectrale basse pression, laser, source de lumière blanche...) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations et connaître quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour relier le temps de cohérence et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation considérée.</p>

<p>χ) Récepteurs. Intensité.</p>	<p>Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.</p> <p>Citer le temps de réponse de l'œil. Choisir un récepteur en fonction de son temps de réponse et de sa sensibilité fournis.</p>
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Superposition d'ondes lumineuses	
<p>Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2} \cos \phi$. Contraste.</p>	<p>Établir la formule de Fresnel. Citer la formule de Fresnel et justifier son utilisation par la cohérence des deux ondes. Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.</p>
<p>Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.</p>	<p>Justifier et utiliser l'additivité des intensités.</p>
<p>Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique dans le cas $N \gg 1$.</p>	<p>Utiliser un grapheur pour discuter l'influence de N sur la finesse sans calculer explicitement l'intensité sous forme compacte. Utiliser la construction de Fresnel pour établir la condition d'interférences constructives et la demi-largeur $2\pi/N$ des franges brillantes.</p>

Dans la partie 3, les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. En revanche, les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucun autre interféromètre à division du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
<p>Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à grande distance finie et observation à grande distance finie. Champ d'interférences. Ordre d'interférences p.</p> <p>Variations de p avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.</p> <p>Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.</p> <p>Variation de p par rajout d'une lame à faces parallèles sur un des trajets.</p> <p>Variations de p avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement spatial de la source.</p> <p>Variations de p avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.</p>	<p>Savoir que les franges ne sont pas localisées. Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.</p> <p>Interpréter la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous d'Young.</p> <p>Confronter les deux dispositifs : analogies et différences.</p> <p>Interpréter la modification des franges</p> <p>Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ (où Δp est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.</p> <p>Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ (où Δp est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales. Relier</p>

Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	la longueur de cohérence, $\Delta\lambda$ et λ en ordre de grandeur. Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.
Généralisation au montage de Fraunhofer : trous d'Young ; ensemble de N trous alignés équidistants.	Confronter ce modèle à l'étude expérimentale du réseau plan.

Dans la partie 4, l'étude de l'interféromètre de Michelson en lame d'air permet de confronter théorie et expérience. En revanche, l'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale. Pour la modélisation d'un interféromètre de Michelson on suppose la séparatrice infiniment mince.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson	
a) Interféromètre de Michelson équivalent à une lame d'air éclairée par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale inclinaison.	Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde. Mesurer l'écart $\Delta\lambda$ d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation. Interpréter les observations en lumière blanche.
b) Interféromètre de Michelson équivalent à un coin d'air éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale épaisseur.	Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Admettre et utiliser l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences. Analyser un objet (miroir déformé, lame de phase introduite sur un des trajets, etc). Interpréter les observations en lumière blanche.

La partie 5 est essentiellement expérimentale.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Onde transmise par un objet diffractant plan éclairé par une onde plane sous incidence normale.	
Réseau unidimensionnel d'extension infinie de coefficient de transmission $t(X)$ sinusoïdal et de pas supérieur à la longueur d'onde. Plan de Fourier.	Construire l'onde transmise par superposition de trois ondes planes définies par la condition aux limites sur le réseau. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Mire unidimensionnelle d'extension latérale infinie de N traits parallèles équidistants. Fréquence spatiale.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la mire à la position d'un point du plan de Fourier. Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Fente rectiligne de coefficient de transmission uniforme.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la fente à la position d'un point du plan de Fourier.

	<p>Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant.</p> <p>Interpréter les observations dans le plan de Fourier.</p> <p>Faire le lien avec la relation $\sin \theta = \lambda/a$ vue en première année.</p>
Filtrage optique	<p>Utiliser l'analyse de Fourier pour interpréter les effets d'un filtrage de fréquences spatiales dans le plan de Fourier.</p>

2. Thermodynamique

Présentation

Le programme de thermodynamique de TPC2 s'inscrit dans le prolongement du programme de TPC1 : les principes de la thermodynamique peuvent être désormais écrits sous forme infinitésimale $dU+dE = \delta W+\delta Q$ et $dS = \delta S_e + \delta S_c$ pour un système évoluant entre deux instants t et $t+dt$ infiniment proches, d'une part dans le cadre de l'étude des machines thermiques avec écoulement en régime stationnaire et d'autre part dans le cadre de l'étude de la diffusion thermique. Les expressions des variations infinitésimales dU et dS en fonction des variables d'état doivent être fournies pour les systèmes envisagés.

Lors de l'étude de la diffusion de particules on néglige la convection. La mise en équation de la diffusion thermique est limitée au cas des solides ; on peut utiliser les résultats ainsi établis dans des fluides en l'absence de convection en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides.

Cette rubrique contribue à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien) mais le formalisme doit rester au deuxième plan. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries cartésiennes unidimensionnelles. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle, ce qui permet de traiter des problèmes dans d'autres géométries en fournissant les expressions de la divergence et du laplacien.

Enfin, aucune connaissance sur les solutions d'une équation de diffusion ne figure au programme. La loi phénoménologique de Newton à l'interface entre un solide et un fluide peut être utilisée dès lors qu'elle est fournie.

Objectifs généraux de formation

Le cours de thermodynamique de TPC2 permet une révision du cours de thermodynamique de TPC1 et contribue à asseoir les compétences correspondantes. Au-delà, l'étude des phénomènes de diffusion contribue à la formation générale en physique des milieux continus en introduisant des outils formels puissants (divergence, laplacien) dans un contexte concret. Les compétences développées sont :

- réaliser des bilans sous forme globale et locale ;
- manipuler des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions initiales, conditions aux limites) ;
- mettre en évidence l'analogie entre les différentes équations locales traduisant le bilan d'une grandeur scalaire extensive ;
- mettre en évidence un squelette algébrique commun à plusieurs phénomènes physiques ;
- utiliser les trois échelles macroscopique, mésoscopique et microscopique ;
- distinguer une loi phénoménologique et une loi universelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Systèmes ouverts en régime stationnaire	
Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.	Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T,s) et (P,h).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Diffusion de particules	
Vecteur densité de flux de particules \mathbf{j}_N .	Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur \mathbf{j}_N .
Bilans de particules.	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir une équation traduisant un bilan local dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Loi de Fick.	Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.
Régimes stationnaires.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.
Équation de diffusion en l'absence de sources internes.	Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Diffusion thermique	
Vecteur densité de flux thermique \mathbf{j}_q	Exprimer le flux thermique à travers une surface en utilisant le vecteur \mathbf{j}_q .
Premier principe de la thermodynamique.	Utiliser le premier principe dans le cas d'un milieu solide pour établir une équation locale dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Régimes stationnaires. Résistance thermique.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Définir la

	<p>notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique.</p> <p>Exprimer une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel en géométrie cartésienne.</p> <p>Utiliser des associations de résistances thermiques.</p>
Équation de la diffusion thermique en l'absence de sources internes.	<p>Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne.</p> <p>Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie.</p> <p>Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.</p> <p>Utiliser la relation de Newton $\delta Q = h(T_s - T_a) dS dt$ fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.</p>

3. Mécanique

Présentation

Le programme de mécanique de TPC2 s'inscrit dans le prolongement des rubriques « mécanique » et « statique des fluides » du programme de TPC1 : il est constitué de deux sous-parties, l'une consacrée à la dynamique de rotation autour d'un axe fixe et l'autre à l'étude des fluides en mouvement.

Objectifs généraux de formation

Le cours de mécanique de TPC2 vise à satisfaire aux objectifs de formation suivants :

- réinvestir les capacités méthodologiques acquises en mécanique du point pour étudier une situation de dynamique de rotation autour d'un axe fixe ;
- conduire des bilans pour étudier un solide mobile autour d'un axe fixe d'une part du point de vue de sa dynamique et d'autre part du point de vue énergétique ;
- décrire et expliquer certaines caractéristiques d'un fluide en écoulement ;
- définir des grandeurs locales ;
- manipuler des équations aux dérivées partielles (analyse en ordre de grandeur, conditions aux limites).

Dans la partie 1, l'étude du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe gardant une direction fixe dans un référentiel galiléen mais pour lequel l'axe de rotation ne serait pas fixe est exclue.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Solide en rotation autour d'un axe fixe	
1.1 Loi du moment cinétique	
Moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et par rapport à un axe orienté.	Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.

Moment cinétique d'un système discret de points par rapport à un axe orienté.	Maîtriser le caractère algébrique du moment cinétique scalaire.
Généralisation au cas du solide en rotation autour d'un axe : moment d'inertie.	Exploiter la relation pour le solide entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni. Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.
Moment d'une force par rapport à un point ou un axe orienté. Couple. Liaison pivot. Notions simples sur les moteurs ou freins dans les dispositifs rotatifs.	Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier. Définir un couple. Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire. Savoir qu'un moteur ou un frein contient nécessairement un stator pour qu'un couple puisse s'exercer sur le rotor.
Loi du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen.	Reconnaître les cas de conservation du moment cinétique.
Loi scalaire du moment cinétique appliquée au solide en rotation autour d'un axe fixe orienté dans un référentiel galiléen.	
Pendule de torsion.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement.
Pendule pesant.	Établir l'équation du mouvement. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique. Établir une intégrale première du mouvement. Approche numérique : Utiliser les résultats fournis par un logiciel de résolution numérique ou des simulations pour mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.
Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2 Approche énergétique du mouvement d'un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté, dans un référentiel galiléen	
Énergie cinétique d'un solide en rotation.	Utiliser la relation $E_c = \frac{1}{2} J_A \omega^2$, l'expression de J_A étant fournie.
Loi de l'énergie cinétique pour un solide.	Établir l'équivalence dans ce cas entre la loi scalaire du moment cinétique et celle de l'énergie cinétique.

La partie 2, fluides en mouvement, étudie le transport de masse dans les fluides en écoulement. Son objectif est d'introduire les grandeurs pertinentes caractérisant un écoulement, en cohérence avec les autres phénomènes de transport. Il ne s'agit pas ici d'établir les équations d'Euler ou de Navier-Stokes, en particulier, l'expression de l'accélération comme la dérivée particulaire de la vitesse est hors programme.

La notion de viscosité est introduite sur un exemple d'écoulement de cisaillement simple. Le nombre de Reynolds est présenté comme un nombre sans dimension permettant de caractériser le régime

d'écoulement. Il est exploité afin d'évoquer les propriétés de similitude entre des systèmes réalisés à des échelles différentes et caractérisés par les mêmes nombres sans dimension.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Fluides en écoulement	
2.1. Débits et lois de conservation	
Particule de fluide.	Définir la particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.
Vitesse de la particule de fluide.	Distinguer vitesse microscopique et vitesse mésoscopique.
Masse volumique μ , vecteur densité de courant de masse $\mu \mathbf{v}$.	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.
Débit massique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur $\mu \mathbf{v}$ à travers une surface orientée.
Conservation de la masse.	Écrire les équations bilans, globale ou locale, traduisant la conservation de la masse.
Écoulement stationnaire.	Définir un écoulement stationnaire et les notions de ligne de courant et de tube de courant de masse. Exploiter la conservation du débit massique.
Écoulement incompressible et homogène.	Définir un écoulement incompressible et homogène par un champ de masse volumique constant et uniforme. Relier cette propriété à la conservation du volume pour un système fermé.
Débit volumique.	Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux de \mathbf{v} à travers une surface orientée. Justifier la conservation du débit volumique le long d'un tube de courant indéformable.
2.2 Actions de contact sur un fluide	
Pression.	Identifier la force de pression comme étant une action normale à la surface. Utiliser l'équivalent volumique des actions de pression $-\mathbf{grad}(P)$.
Viscosité dynamique pour un fluide newtonien.	Relier l'expression de la force surfacique de viscosité au profil de vitesse dans le cas d'un écoulement parallèle unidimensionnel et incompressible. Exprimer la dimension du coefficient de viscosité dynamique. Citer l'ordre de grandeur du coefficient de viscosité dynamique de l'eau. Citer la condition d'adhérence à l'interface fluide-solide.
Coefficient de tension superficielle.	Mesurer un coefficient de tension superficielle. Utiliser l'expression de l'énergie de tension superficielle pour interpréter un protocole expérimental.
2.3 Écoulement interne incompressible et homogène dans une conduite cylindrique	
Écoulements laminaire, turbulent.	Décrire les différents régimes d'écoulement (laminaire et turbulent).
Vitesse débitante.	Relier le débit volumique à la vitesse débitante.
Nombre de Reynolds.	Interpréter le nombre de Reynolds comme un paramètre adimensionné caractérisant le régime

	d'écoulement. Évaluer le nombre de Reynolds et l'utiliser pour caractériser le régime d'écoulement.
Chute de pression dans une conduite horizontale. Résistance hydraulique.	Dans le cas d'un écoulement à faible nombre de Reynolds, établir la loi de Hagen-Poiseuille et en déduire la résistance hydraulique. Exploiter le graphe de la chute de pression en fonction du nombre de Reynolds, pour un régime d'écoulement quelconque. Exploiter un paramétrage adimensionné permettant de transposer des résultats expérimentaux ou numériques sur des systèmes similaires réalisés à des échelles différentes.
2.4 Écoulement externe incompressible et homogène autour d'un obstacle	
Force de traînée subie par une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme. Coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds. Notion de couche limite. Forces de traînée et de portance d'une aile d'avion à haut nombre de Reynolds.	Associer une gamme de nombre de Reynolds à un modèle de traînée linéaire ou un modèle quadratique. Pour les écoulements à grand nombre de Reynolds décrire qualitativement la notion de couche limite. Définir et orienter les forces de portance et de traînée. Exploiter les graphes de C_x et C_z en fonction de l'angle d'incidence.

4. Électromagnétisme

Présentation

L'électromagnétisme a été étudié en TPC1 dans un domaine restreint (induction électromagnétique et forces de Laplace) et sans le support des équations locales. Le programme de TPC2 couvre en revanche tout le spectre des fréquences, des régimes stationnaires jusqu'aux phénomènes de propagation en passant par les régimes quasi-stationnaires et prend appui sur les équations locales (équation de conservation de la charge et équations de Maxwell). Le programme est découpé en rubriques indépendantes dont l'ordre de présentation relève de la liberté pédagogique du professeur. De nombreuses approches sont possibles, y compris en fractionnant les parties. Les phénomènes de propagation sont étudiés essentiellement dans le cadre de la rubrique Physique des ondes du programme : l'articulation entre les parties Électromagnétisme et Physique des ondes relève elle aussi de la liberté pédagogique.

Toute étude de distributions de courants superficiels est exclue. La modélisation superficielle d'une distribution de charges est strictement limitée à la modélisation du condensateur plan par deux plans infinis uniformément chargés : on fait remarquer la discontinuité du champ à la traversée d'une nappe de charges superficielles mais les relations de passage ne figurent pas au programme.

S'agissant des potentiels, on se limite à introduire le potentiel scalaire en électrostatique et à faire remarquer que le champ électrique ne dérive pas d'un potentiel scalaire en régime variable.

L'apprentissage de l'électromagnétisme contribue à la maîtrise progressive des opérateurs d'analyse vectorielle qui sont utilisés par ailleurs en thermodynamique et en mécanique des fluides. Quel que soit l'ordre dans lequel le professeur choisit de présenter ces parties, il convient d'introduire ces opérateurs en insistant sur le contenu physique sous-jacent.

L'étude de l'électromagnétisme n'est pas centrée sur les calculs de champs : ceux-ci se limitent donc à des calculs motivés par des applications pratiques d'intérêt évident. La recherche des lignes de champs d'un champ donné est traitée exclusivement à l'aide de logiciels d'intégration numérique.

Objectifs généraux de formation

- Découper un système en éléments infinitésimaux et sommer des grandeurs physiques (champs créés, forces subies).
- Exploiter des cartes de lignes de champ fournies.
- Exploiter des propriétés de symétries.
- Manipuler des ordres de grandeur allant du microscopique au macroscopique.
- Distinguer les champs de vecteurs à flux conservatif et les champs de vecteurs à circulation conservative.
- Manipuler des modèles (dipôles, condensateur plan, solénoïde long, etc.)

La partie 1 étudie les sources du champ électromagnétique dans l'approximation des milieux continus. Par ailleurs il convient de souligner et d'exploiter les analogies formelles avec les autres théories de champ : diffusion de particules, diffusion thermique, mécanique des fluides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Sources du champ électromagnétique	
1.1 Description microscopique et mésoscopique des sources	
Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.	Exprimer ρ et \mathbf{j} en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique. Relier l'intensité du courant et le flux de \mathbf{j} .
1.2 Conservation de la charge	
Équation locale de conservation de la charge. Conséquences en régime stationnaire.	Établir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation (admise) en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence, son expression étant fournie. Exploiter le caractère conservatif du vecteur \mathbf{j} en régime stationnaire. Relier ces propriétés aux lois usuelles de l'électrocinétique.
1.3 Conduction électrique dans un conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale dans un métal fixe, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau fixe étant décrite par une force phénoménologique de la forme $-\mathbf{mv}/\tau$ Conductivité électrique. Résistance d'une portion de conducteur filiforme. Approche descriptive de l'effet Hall. Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale.	Déduire du modèle un ordre de grandeur de τ et en déduire un critère de validité du modèle en régime variable. Déduire du modèle un ordre de grandeur de v et en déduire un critère pour savoir s'il convient de prendre en compte un éventuel champ magnétique. Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie rectangulaire. Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.

La partie 2 étudie les lois de l'électrostatique et quelques applications. Les calculs de champs doivent être motivés par l'utilisation de ces champs pour étudier des situations d'intérêt pratique évident. Ces calculs ne s'appuient sur la loi de Coulomb que pour des distributions de charges discrètes. Dans le cas des distributions continues, on se limite aux situations de haute symétrie permettant de calculer le champ par le théorème de Gauss et aux superpositions de champs ainsi obtenus.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Electrostatique	
2.1 Champ électrostatique	
<p>Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle : relation $\mathbf{E} = -\text{grad } V$. Principe de superposition.</p> <p>Circulation conservative du champ électrique et signification physique : énergie potentielle d'une charge q dans un champ \mathbf{E}.</p> <p>Équation locale $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{0}$.</p> <p>Propriétés de symétrie.</p> <p>Théorème de Gauss et équation locale $\text{div } \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$.</p> <p>Propriétés topographiques.</p>	<p>Citer l'ordre de grandeur du champ créé par le noyau sur l'électron dans un atome d'hydrogène.</p> <p>Associer la circulation de \mathbf{E} au travail de la force $q\mathbf{E}$.</p> <p>Utiliser le théorème de Stokes. Associer les propriétés locales $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{0}$ dans tout l'espace et $\mathbf{E} = -\text{grad } V$. Associer la relation $\mathbf{E} = -\text{grad } V$ au fait que les lignes de champ sont orthogonales aux surfaces équipotentielles et orientées dans le sens des potentiels décroissants.</p> <p>Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.</p> <p>Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss.</p> <p>Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ électrostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme de \mathbf{E} à l'évasement des tubes de champ loin des sources. Dédurre les lignes équipotentielles d'une carte de champ électrostatique, et réciproquement. Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.</p>
2.2 Exemples de champs électrostatiques	
<p>Dipôle électrostatique. Moment dipolaire.</p> <p>Potentiel et champ créés.</p> <p>Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment.</p>	<p>Décrire les conditions de l'approximation dipolaire.</p> <p>Établir l'expression du potentiel V. Comparer la décroissance avec la distance du champ et du potentiel dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle. Tracer l'allure des lignes de champ.</p> <p>Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle E_p, de la résultante \mathbf{F} et du moment \mathbf{M}.</p>

Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure. Approche descriptive des interactions ion-molécule et molécule-molécule. Dipôle induit. Polarizabilité.	Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle dans un champ d'origine extérieure E . Expliquer qualitativement la solvatation des ions dans un solvant polaire. Expliquer qualitativement pourquoi l'énergie d'interaction entre deux molécules polaires n'est pas en $1/r^3$. Exprimer la polarizabilité d'un atome en utilisant le modèle de Thomson. Associer la polarizabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.
Plan infini uniformément chargé en surface. Condensateur plan modélisé par deux plans parallèles portant des densités superficielles de charges opposées et uniformes. Capacité. Densité volumique d'énergie électrostatique.	Établir l'expression du champ créé. Établir l'expression du champ créé. Déterminer la capacité du condensateur. Citer l'ordre de grandeur du champ disruptif dans l'air. Associer l'énergie d'un condensateur apparue en électrocinétique à une densité volumique d'énergie.

La partie 3 se consacre à l'étude du champ magnétique en régime stationnaire en prenant appui sur les équations locales : la loi de Biot et Savart ne figure pas au programme. L'objectif est davantage l'étude des propriétés du champ magnétique que le calcul de champs magnétiques : ceux-ci doivent donc se limiter à des situations d'intérêt pratique évident. Pour nourrir cette rubrique en applications on utilise les forces de Laplace et de Lorentz étudiées en TPC1. Enfin, la notion de potentiel-vecteur est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Magnétostatique	
3.1 Champ magnétostatique	
Équations locales de la magnétostatique et formes intégrales : flux conservatif et théorème d'Ampère. Linéarité des équations.	Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère. Utiliser une méthode de superposition.
Propriétés de symétrie. Propriétés topographiques.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé. Justifier qu'une carte de lignes de champs puisse ou non être celle d'un champ magnétostatique ; repérer d'éventuelles sources du champ et leur signe/sens. Associer l'évolution de la norme de B à l'évasement des tubes de champ.
3.2 Exemples de champs magnétostatiques	
Câble rectiligne « infini ». Limite du fil rectiligne infini.	Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini. Calculer et connaître le champ créé par un fil rectiligne infini. Utiliser ces modèles près d'un circuit filiforme réel.
Solénoïde long sans effets de bords.	Calculer et connaître le champ à l'intérieur, la nullité du champ extérieur étant admise.
Inductance propre. Densité volumique	Établir les expressions de l'inductance propre et de

d'énergie magnétique.	l'énergie d'une bobine modélisée par un solénoïde. Associer cette énergie à une densité d'énergie volumique.
3.3 Dipôles magnétostatiques	
Moment magnétique d'une boucle de courant plane.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Utiliser un modèle planétaire pour relier le moment magnétique d'un atome d'hydrogène à son moment cinétique. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.
Rapport gyromagnétique de l'électron. Magnéton de Bohr.	Construire en ordre de grandeur le magnéton de Bohr par analyse dimensionnelle. Interpréter sans calculs les sources microscopiques du champ magnétique. Évaluer l'ordre de grandeur maximal du moment magnétique volumique d'un aimant permanent.
Ordre de grandeur de la force surfacique d'adhérence entre deux aimants permanents identiques en contact.	Obtenir l'expression de la force surfacique d'adhérence par analyse dimensionnelle.
Actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure : résultante et moment. Énergie potentielle d'un dipôle magnétique rigide placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.	Utiliser des expressions fournies. Approche documentaire de l'expérience de Stern et Gerlach : expliquer sans calculs les résultats attendus dans le cadre de la mécanique classique ; expliquer les enjeux de l'expérience.

La partie 4 présente les équations de Maxwell en régime dépendant du temps. La notion de potentiel-vecteur est hors-programme mais on insiste sur le fait que le champ électrique ne dérive pas en général d'un potentiel scalaire. L'étude détaillée des ondes électromagnétiques qui prolonge cette partie est placée dans la partie Physique des ondes. On ne mentionne ici les phénomènes de propagation que pour les négliger dans le cadre des régimes lentement variables. Le cadre adopté est celui de l'ARQS « magnétique » où les effets des distributions de courants dominant ceux des distributions de charges.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Équations de Maxwell	
4.1 Postulats de l'électromagnétisme	
Force de Lorentz. Équations locales de Maxwell. Formes intégrales. Compatibilité avec les cas particuliers de l'électrostatique et de la magnétostatique ; compatibilité avec la conservation de la charge.	Utiliser les équations de Maxwell sous forme locale ou intégrale. Faire le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday étudiée en TPC1.
Linéarité.	Utiliser une méthode de superposition.

4.2 Aspects énergétiques	
Vecteur de Poynting. Densité volumique d'énergie électromagnétique. Équation locale de Poynting.	Utiliser les grandeurs énergétiques pour faire des bilans d'énergie électromagnétique. Associer le vecteur de Poynting et l'intensité utilisée en optique.
4.3 Validation de l'approximation des régimes quasi-stationnaires « magnétique »	
Équations de propagation des champs E et B dans le vide. Caractère non instantané des interactions électromagnétiques. Relation $\epsilon_0\mu_0c^2=1$.	Établir les équations de propagation. Interpréter c.
ARQS « magnétique ».	Discuter la légitimité du régime quasi-stationnaire. Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge et utiliser les formes simplifiées. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.

5. Physique des ondes

Présentation

Le programme de physique des ondes de TPC2 s'inscrit dans le prolongement de la partie « signaux physiques » du programme de TPC1 où des propriétés unificatrices (diffraction, interférences, battements...) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de D'Alembert en électromagnétisme et en acoustique. On aborde ensuite l'étude de la dispersion, de l'atténuation et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. La propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une interface. L'étude de la physique des ondes s'achève par une introduction à la physique quantique.

Objectifs généraux de formation

L'étude de la physique des ondes doit conduire les étudiants à développer, entre autres, les compétences suivantes :

- mettre en évidence les analogies existant entre des phénomènes relevant de domaines de la physique très différents, mais dont le comportement est régi par les mêmes équations aux dérivées partielles ;
- utiliser les ondes planes monochromatiques comme outil privilégié de résolution d'une équation d'onde linéaire, et caractériser celle-ci par une relation de dispersion ;
- choisir de manière pertinente entre des ondes stationnaires (c'est-à-dire dont les variations spatiale et temporelle sont factorisées en représentation réelle) et des ondes progressives ;
- associer les modes propres d'un système confiné à des ondes stationnaires dont les pulsations sont quantifiées ;
- utiliser l'analyse de Fourier et la superposition pour faire le lien entre une solution physique réelle spatialement et temporellement limitée, et des solutions mathématiques élémentaires non réalistes ;
- utiliser des conditions initiales et/ou des conditions aux limites connues pour déterminer la solution d'une équation d'ondes par superposition ;
- linéariser des équations à partir de la manipulation d'ordres de grandeur pertinents associés au phénomène étudié ;

- identifier les principaux types de comportements ondulatoires associés aux domaines asymptotiques d'une relation de dispersion simple (propagation sans déformation, dispersion, absorption, atténuation).

La partie 1 est consacrée à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs régis par l'équation d'onde de D'Alembert. Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires. Les solutions générales $f(x-ct)$ et $g(x+ct)$ apparaissent ici comme un cas particulier que l'on retrouve par superposition. La méthode de séparation des variables n'est donc pas exigible sur cette partie. S'agissant de la modélisation microscopique des solides, l'objectif est principalement d'établir la loi de Hooke qui sera ensuite utilisée pour mettre en équations les ondes longitudinales dans l'approximation du solide continu. Dans le cadre de la physique des ondes, on qualifiera de plane une onde par référence à sa dépendance spatiale $f(x,t)$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de D'Alembert	
1.1. Ondes mécaniques unidimensionnelles dans les solides déformables	
Équation d'onde pour des ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Modèle microscopique de solide élastique unidimensionnel (chaîne d'atomes élastiquement liés) : loi de Hooke.	Relier la raideur des ressorts fictifs à l'énergie de liaison et évaluer l'ordre de grandeur du module d'Young.
Ondes acoustiques longitudinales dans une tige solide dans l'approximation des milieux continus.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Équation de D'Alembert ; célérité.	Reconnaître une équation de D'Alembert. Associer qualitativement la célérité d'ondes mécaniques, la raideur et l'inertie du milieu support.
Exemples de solutions de l'équation de D'Alembert : <ul style="list-style-type: none"> - ondes progressives harmoniques - ondes stationnaires harmoniques 	Différencier une onde stationnaire d'une onde progressive par la forme de leur représentation réelle. Utiliser qualitativement l'analyse de Fourier pour décrire une onde non harmonique.
Applications : <ul style="list-style-type: none"> - régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités - régime forcé : résonances sur la corde de Melde. 	Décrire les modes propres. En négligeant l'amortissement, associer mode propre et résonance en régime forcé.
1.2. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Équations de propagation de E et B dans une région sans charge ni courant.	Établir et citer les équations de propagation.
Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Établir et décrire la structure d'une OPPH. Utiliser le principe de superposition d'OPPH.

<p>Aspects énergétiques.</p> <p>Polarisation des ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques : polarisation elliptique, circulaire et rectiligne.</p> <p>Analyse d'une lumière totalement polarisée. Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée.</p>	<p>Relier la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Relier le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire, téléphonie, etc) et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.</p> <p>Relier l'expression du champ électrique à l'état de polarisation d'une onde.</p> <p>Reconnaître une lumière non polarisée. Distinguer une lumière non polarisée d'une lumière totalement polarisée.</p>
--	---

La partie 2 est consacrée aux phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. L'étude est menée sur des ondes harmoniques planes en représentation complexe. On s'appuie soit sur les plasmas localement neutres soit sur les milieux ohmiques. On admet que les DLHI relèvent d'un traitement analogue faisant apparaître l'indice complexe mais aucune modélisation du comportement des DLHI ne figure au programme. On se limite dans tous les cas à des milieux non magnétiques.

2. Phénomènes de propagation linéaires	
2.1 Ondes électromagnétiques dans les plasmas et dans les métaux	
<p>Interaction entre une onde plane progressive harmonique et un plasma localement neutre sans collisions. Conductivité imaginaire pure. Interprétation énergétique.</p> <p>Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu localement neutre possédant une conductivité complexe : relation de dispersion, indice complexe. Dispersion, absorption.</p> <p>Cas particulier d'une propagation unidirectionnelle dans un plasma sans collisions : onde évanescente dans le domaine réactif ($\omega < \omega_p$) ; absence de propagation de l'énergie en moyenne temporelle.</p>	<p>Décrire le modèle. Construire une conductivité complexe en justifiant les approximations. Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance échangée en moyenne temporelle entre le champ et les porteurs de charges.</p> <p>Établir une relation de dispersion pour des ondes planes progressives harmoniques. Associer les parties réelle et imaginaire de k aux phénomènes de dispersion et d'absorption.</p> <p>Reconnaître une onde évanescente (onde stationnaire atténuée).</p> <p>Approche documentaire : à l'aide de données sur l'ionosphère illustrer quelques aspects des télécommunications.</p>

Cas particulier d'un conducteur ohmique de conductivité réelle : effet de peau.

Repérer une analogie formelle avec les phénomènes de diffusion. Connaître l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50 Hz.

La partie 3 est consacrée à la réflexion et la transmission d'ondes électromagnétiques à une interface plane sous incidence normale, dans le cas de milieux non magnétiques. La notion de densité de courants superficiels et les relations de passage du champ électromagnétique ne figurent pas au programme. La notion de conducteur parfait ne figure pas au programme, les conditions aux limites sur la composante normale du champ électrique et la composante tangentielle du champ magnétique doivent être fournies si nécessaire dans un problème.

3. Interfaces entre deux milieux	
Réflexion d'une onde plane progressive harmonique entre deux demi-espaces d'indices complexes \underline{n}_1 et \underline{n}_2 sous incidence normale : coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique.	Exploiter la continuité (admise) du champ électromagnétique dans cette configuration pour obtenir l'expression du coefficient de réflexion en fonction des indices complexes.
Cas d'une interface vide-plasma. Coefficients de réflexion et de transmission en puissance.	Distinguer les comportements dans le domaine de transparence et dans le domaine réactif du plasma.
Cas d'une interface vide-conducteur ohmique de conductivité réelle constante.	Établir les expressions des coefficients de réflexion et transmission du champ pour un métal réel. Passer à la limite d'une épaisseur de peau nulle.
Cas d'une interface vide-conducteur ohmique dans le domaine optique visible.	Identifier le comportement du métal dans ce domaine, avec celui d'un plasma localement neutre peu dense en-dessous de sa pulsation de plasma. Associer la forme du coefficient complexe de réflexion à l'absence de propagation d'énergie dans le métal en moyenne temporelle.
Polarisation par réflexion vitreuse sous incidence oblique.	Identifier l'incidence de Brewster et utiliser cette configuration pour repérer la direction absolue d'un polariseur.

La physique quantique fait l'objet de la partie 4. Elle est restreinte à l'étude de systèmes unidimensionnels. Une introduction qualitative est proposée, les concepts essentiels abordés sont la dualité onde-corpuscule, l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, et les conséquences de l'inégalité de Heisenberg spatiale dans des situations confinées. Cette découverte est suivie d'une présentation plus quantitative, volontairement limitée dans ses ambitions, elle s'insère dans cette partie générale sur les ondes dans la mesure où elle propose une approche ondulatoire simple de la physique quantique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1 Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques.

	<p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.</p> <p>Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.</p>
Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Inégalité de Heisenberg spatiale.	À l'aide d'une analogie avec la diffraction des ondes lumineuses, établir l'inégalité en ordre de grandeur : $\Delta p \Delta x \geq \hbar$.
Énergie minimale de l'oscillateur harmonique quantique.	Établir le lien entre confinement spatial et énergie minimale (induit par l'inégalité de Heisenberg spatiale).
4.2 Approche ondulatoire de la mécanique quantique	
Amplitude de probabilité	
Fonction d'onde $\psi(x,t)$ associée à une particule dans un problème unidimensionnel. Densité linéique de probabilité.	Normaliser une fonction d'onde. Faire le lien qualitatif avec la notion d'orbitale en chimie.
Principe de superposition. Interférences.	Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.
Équation de Schrödinger pour une particule libre	
Équation de Schrödinger. États stationnaires.	Utiliser l'équation de Schrödinger fournie. Identifier les états stationnaires aux états d'énergie fixée. Établir et utiliser la relation : $\psi(x,t) = \varphi(x) \exp(-iEt/\hbar)$ et l'associer à la relation de Planck-Einstein. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Utiliser l'équation de Schrödinger pour la partie spatiale $\varphi(x)$. En exploitant l'expression classique de l'énergie de la particule libre, associer la relation de dispersion obtenue et la relation de de Broglie.
Équation de Schrödinger dans un puits de potentiel	
Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel rectangulaire de profondeur infinie.	Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Faire l'analogie avec la recherche des pulsations propres d'une corde vibrante fixée en ses deux extrémités. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale.
Énergie de confinement quantique.	Associer le confinement d'une particule quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en appendice 1 du programme de physique de TPC1. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Lames quart d'onde, lames demi-onde
- Réseau de coefficient de transmission sinusoïdal
- Interféromètre de Michelson motorisé

2. Domaine électrique

- Générateur de signaux Basse Fréquence avec fonction de commande externe de la fréquence par une tension

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de physique TPC2 sont d'une part ceux qui figurent dans l'appendice 2 du programme de TPC1 et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Le thème « analyse vectorielle » prolonge l'étude de l'outil « gradient » abordée en TPC1 en introduisant de nouveaux opérateurs : seules leurs expressions en coordonnées cartésiennes sont exigibles. Toutes les autres formules utiles (expressions en coordonnées cylindriques ou sphériques, actions sur des produits, combinaisons d'opérateurs, etc) doivent être fournies.

Le thème « analyse de Fourier » prolonge l'étude de l'outil « séries de Fourier » abordée en TPC1 en admettant la décomposition d'une fonction non périodique du temps en une somme continue de fonctions sinusoïdales. De même qu'en TPC1 où le calcul des coefficients d'un développement en série de Fourier est exclu, on ne cherche pas en TPC2 à expliciter le poids relatif et les déphasages relatifs des différentes composantes de Fourier, de telle sorte que la transformée de Fourier n'est pas exigible. On insiste en revanche sur la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Dans le thème « équations aux dérivées partielles », aucune méthode générale d'étude n'est exigible : on se limite à chercher des solutions d'une forme donnée par substitution, menant ainsi soit à des équations différentielles classiques, soit à une relation de dispersion.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f/\partial x = g(x,y)$ à y fixé en introduisant une fonction $\phi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse vectorielle	
a) gradient	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à t fixé. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.
b) divergence	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
c) rotationnel	Citer et utiliser le théorème de Stokes. Exprimer le rotationnel en coordonnées cartésiennes.
d) laplacien d'un champ scalaire	Définir $\Delta f = \text{div}(\mathbf{grad} f)$. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.
e) laplacien d'un champ de vecteurs	Exprimer le laplacien d'un champ de vecteurs en coordonnées cartésiennes.
f) cas des champs proportionnels à $\exp(i\omega t - i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ ou $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - i\omega t)$	Exprimer l'action des opérateurs d'analyse vectorielle sur un tel champ à l'aide du vecteur $i\mathbf{k}$.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Analyse de Fourier	
Synthèse spectrale d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni. Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial.
Synthèse spectrale d'une fonction non périodique.	Utiliser un raisonnement par superposition. Transposer l'analyse de Fourier du domaine temporel au domaine spatial. Citer et utiliser la relation liant en ordre de grandeur la largeur spectrale « utile » ($\Delta\omega$ ou Δk_x) et l'étendue caractéristique d'un signal non périodique (Δt ou Δx).

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Équations aux dérivées partielles	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de D'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine. Obtenir des solutions de forme donnée par substitution. Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites.

Appendice 3 : outils transversaux

La liste ci-dessous explicite un certain nombre d'outils transversaux dont la maîtrise est indispensable au physicien. Leur apprentissage progressif et contextualisé doit amener les étudiants au bout des deux années de CPGE à en faire usage spontanément quel que soit le contexte. S'agissant de l'analyse dimensionnelle, il convient d'éviter tout dogmatisme : en particulier la présentation de la dimension d'une grandeur par le biais de son unité dans le système international est autorisée. S'agissant de la recherche d'une expression par analyse dimensionnelle il ne s'agit en aucun cas d'en faire un exercice de style : en particulier le théorème Pi de Buckingham est hors-programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Analyse de pertinence	
Homogénéité d'une expression.	Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs mise en jeu.
Caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs physiques présentes dans une expression.	Contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non infinitésimal des grandeurs mise en jeu.
Sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre.	Interpréter qualitativement et en faire un test de pertinence.
Limites d'une expression pour des valeurs nulles ou infinies des paramètres.	Tester les limites d'une expression. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Nullité d'une expression.	Repérer l'annulation d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence.
Divergence d'une expression.	Repérer la divergence d'une expression pour une valeur particulière d'un paramètre. Interpréter qualitativement ou en faire un test de pertinence. Proposer éventuellement des éléments non pris en compte dans le modèle susceptibles de brider la divergence (frottements, non linéarités, etc).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Calcul numérique.	
Calcul numérique d'une expression.	Calculer sans outil l'ordre de grandeur (puissance de dix) d'une expression simple. Afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données et une unité correcte dans le cas d'un résultat dimensionné. Commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaisons à des valeurs de référence bien choisies, etc). En faire un test de pertinence.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Outils de communication	
Tableaux de données numériques simples.	Transformer un tableau de données numériques en représentation graphique. Renseigner correctement les axes.
Exploitation d'une représentation graphique.	Repérer les comportements intéressants dans le contexte donné : monotonie, extrema, branches infinies, signes. Interpréter le caractère localement rectiligne selon qu'on travaille en échelles linéaire, semi-logarithmique ou log-log.
Schémas et figures.	Transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels. Élaborer une courte synthèse à partir de plusieurs éléments graphiques : tableaux, schémas, courbes...

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Analyse dimensionnelle	
Dimension d'une expression.	Déterminer la dimension d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.
Recherche d'une expression de type monôme par analyse dimensionnelle.	Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E=A^\alpha B^\beta C^\gamma$ par analyse dimensionnelle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Analyse d'ordre de grandeur	
Comparaison en ordre de grandeur des différents termes d'une équation différentielle ou d'une équation aux dérivées partielles.	À partir d'une mise en évidence des échelles pertinentes d'un problème, évaluer et comparer l'ordre de grandeur des différents termes d'une équation afin de la simplifier en conséquence.

Programme de chimie de la voie TPC2

Le programme de chimie de la classe de TPC2 s'inscrit dans la continuité du programme de TPC1. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de TPC2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de TPC2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur

veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques et chimiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de chimie de la classe de TPC2 inclut celui de la classe de TPC1, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de TPC1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de TPC2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de TPC2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre. Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Deux appendices listent le matériel et les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de chimie en fin de l'année de TPC2. Ils complètent le matériel et les outils mathématiques rencontrés en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment

contribuer à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.

- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, physique et informatique.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La chimie est une science à la fois théorique et expérimentale. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement. C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (formation disciplinaire), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la chimie.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont

explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale - définir les objectifs correspondants
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer un modèle - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes - confronter un modèle à des résultats expérimentaux - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information - analyser les résultats de manière critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible o utiliser un vocabulaire scientifique adapté o s'appuyer sur des schémas, des graphes - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe - solliciter une aide de manière pertinente - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au

sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...).

	Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique)

l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques
--------	---

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de TPC2. Elle vient prolonger la partie « formation expérimentale » du programme de TPC1 ; les capacités décrites dans le programme de TPC1 doivent toutes être acquises à l'issue des deux années de préparation, elles restent donc au programme de seconde année de TPC2 et sont remobilisées si nécessaire.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion de l'étude d'un problème concret.

Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permettent de prévenir et de minimiser ces risques. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Mesures de grandeurs physiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mesures de : - Volume - Masse	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Préparer une solution aqueuse de concentration donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une

- pH	solution de concentration molaire connue ou d'une solution de titre massique et de densité connus.
- Conductance et conductivité - Tension - Intensité du courant électrique - Température - Pouvoir rotatoire - Indice de réfraction - Absorbance	Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Utiliser les appareils de mesure (masse, pH, conductance, tension, intensité, température, indice de réfraction, absorbance, pouvoir rotatoire) en s'aidant d'une notice. Mettre en œuvre des mesures calorimétriques à pression constante. Choisir les électrodes adaptées à une mesure électrochimique. Construire un dispositif électrochimique à partir de sa représentation symbolique. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
- Temps de rétention en chromatographie en phase gaz	Effectuer une injection dans des conditions optimales données. Lire, interpréter et justifier qualitativement un chromatogramme

Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique sera utilisé :

- dans le domaine de la simulation : pour interpréter et anticiper des résultats ou des phénomènes, chimiques, pour comparer des résultats obtenus expérimentalement à ceux fournis par un modèle et pour visualiser des modèles de description de la matière. Les domaines d'activité qui se prêtent particulièrement à la simulation sont : les titrages en solution aqueuse, la cinétique chimique, la cristallographie, la modélisation moléculaire, l'approche orbitale. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et l'usage de toutes les animations numériques qui facilitent l'apprentissage est recommandé ;
- pour l'acquisition de données, en utilisant un appareil de mesure interfacé avec l'ordinateur ;
- pour la saisie et le traitement de données à l'aide d'un tableur ou d'un logiciel dédié.

Partie 3 - Formation disciplinaire

La formation disciplinaire de TPC2 complète celle effectuée en TPC1 à la fois en chimie sur l'architecture et la transformation de la matière et en physique sur la thermodynamique et la mécanique quantique. Cette formation aborde des domaines nouveaux que sont la thermodynamique des transformations des systèmes physico-chimiques, les aspects cinétiques des réactions électrochimiques, la modélisation quantique de la structure et de la réactivité des entités chimiques. Par ailleurs, elle complète l'apport de connaissances et le développement de compétences en stratégie de synthèse en chimie organique.

Tout au long des deux années, la formation disciplinaire en chimie s'inscrit dans une vision rénovée de son enseignement, privilégiant la capacité de l'élève à raisonner, à prévoir et à transposer ses connaissances dans des situations nouvelles ou sur des composés proches de ceux étudiés, plutôt que sa capacité à réciter, à reproduire. Ainsi les programmes des deux années sont structurés autour des outils du raisonnement que sont les théories et les modèles de comportement macroscopique ou microscopique et non pas autour d'une présentation encyclopédique, systématique, des composés et des réactions associées (acides, bases, complexes, précipités, alcènes, alcools, ...). Il s'agit bien de changer l'image parfois véhiculée de la chimie, d'une discipline où l'apprentissage par cœur serait le moteur de la réussite, et de montrer qu'elle est une science où la dialectique entre savoirs et méthodes permet d'aborder des situations nouvelles, de construire de nouvelles connaissances. Ainsi formés en chimie, futurs ingénieurs ou chercheurs scientifiques pourront accompagner l'innovation, moteur de la croissance de demain, que ce soit dans le cadre de la recherche et du développement mais aussi de la production au stade industriel.

L'ordre de présentation des contenus n'est pas nécessairement celui qui doit être adopté par le professeur ; celui-ci dispose de toute liberté pour effectuer des choix et établir sa propre progression annuelle dont le seul objectif reste de permettre l'acquisition par tous les élèves de l'ensemble des capacités exigibles. Un travail en collaboration avec le professeur enseignant la physique est vivement recommandé afin de favoriser les apprentissages sur les domaines communs étudiés dans les deux disciplines.

1. Mélanges et transformations : aspects thermodynamiques
 - 1.1 Changements d'état isobare de mélanges binaires
 - 1.2 Transformations physico-chimiques

2. Energie chimique et énergie électrique : conversion et stockage
 - 2.1 Thermodynamique des réactions d'oxydoréduction
 - 2.2 Cinétique des réactions d'oxydoréduction

3. Atomes, molécules, complexes : modélisation quantique et réactivité
 - 3.1 Orbitales atomiques
 - 3.2 Orbitales moléculaires et réactivité
 - 3.3 Orbitales moléculaires et structure des complexes
 - 3.4 Activité catalytique des complexes ; cycles catalytiques

4. Molécules et matériaux organiques : stratégie de synthèse et applications
 - 4.1 Stratégie de synthèse : activation et protection de fonctions
 - 4.2 Conversion de groupes caractéristiques
 - 4.3 Création de liaison CC
 - 4.4 Matériaux organiques polymères

1. MELANGES ET TRANSFORMATIONS : ASPECTS THERMODYNAMIQUES

Au laboratoire, comme dans l'industrie, les chimistes sont amenés à élaborer des composés à partir de matières premières ou à séparer les espèces contenues dans un mélange réactionnel ou dans des substances naturelles. Dans les deux cas, l'innovation comme l'optimisation des techniques et des procédés s'appuient notamment sur des fondements thermodynamiques. Par exemple, le raffinage du pétrole brut consiste en une succession de distillations et de transformations nécessaires à l'élimination de constituants indésirables et à l'obtention en particulier de carburants plus performants et l'exploitation de la biomasse met aussi en œuvre des extractions et des transformations.

La thermodynamique permet en effet de prévoir si la transformation envisagée est possible ou non et

de trouver d'éventuelles pistes d'amélioration du rendement d'une synthèse. Elle permet aussi d'appréhender les propriétés physico-chimiques des mélanges et d'envisager une voie d'accès aux corps purs. Elle contribue ainsi à l'obtention de matériaux de plus en plus complexes et répondant à des cahiers des charges de plus en plus exigeants.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- l'exploitation des diagrammes isobares de mélanges binaires construits à partir des courbes d'analyse thermique ;
- l'application des deux principes de la thermodynamique aux transformations physico-chimiques.

La première partie s'intéresse aux changements d'état de mélanges binaires. Les diagrammes isobares sont construits à partir des courbes d'analyse thermique. Ils sont utilisés pour interpréter les techniques de séparation liquide-liquide que sont les distillations mises en œuvre dans l'approche expérimentale et pour comprendre le comportement de mélanges de solides, en particulier des alliages. Ces diagrammes sont l'occasion également de réinvestir les notions étudiées sur les changements d'état du corps pur et de se familiariser avec la notion de degrés de liberté d'un système ; le calcul de la variance par le théorème de Gibbs est hors programme.

La deuxième partie porte sur les transformations physico-chimiques. L'étude des transferts thermiques lors des transformations des corps purs, abordée en première année dans le cadre du cours de physique, est ici généralisée au cas des transformations physico-chimiques. Par ailleurs, le critère d'évolution d'un système, utilisé dès la première année, est ici démontré par application du second principe de la thermodynamique. Les concepts abordés sont illustrés par des exemples choisis en particulier dans le domaine industriel.

Les transformations physico-chimiques envisagées sont des transformations isobares. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température.

On adopte pour les potentiels chimiques une expression générale : $\mu_i(T,p,composition) = \mu_i^{ref}(T,p) + RT \ln(a_i)$ qui fait référence aux activités a_i introduites en première année. L'établissement de cette expression est strictement hors programme. L'influence de la pression sur le potentiel chimique d'un constituant en phase condensée pure est uniquement étudiée dans le cadre d'une approche documentaire sur la pression osmotique.

L'étude de l'influence de la modification d'un paramètre (pression, température ou composition) sur un système physico-chimique permet d'aborder l'optimisation des conditions opératoires d'une synthèse. Il n'est pas attendu de discussions sur le déplacement de l'équilibre chimique, ce qui exclut de fait tout calcul différentiel de l'affinité ($d\mathcal{A}$).

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la définition et la description d'un système physico-chimique ;
- modéliser un système réel ;
- distinguer modélisation d'une transformation (réaction et écriture de l'équation de réaction) et description quantitative de l'évolution d'un système prenant en compte les conditions expérimentales choisies pour réaliser la transformation ;
- établir un bilan thermique ;
- confronter des grandeurs calculées ou tabulées à des mesures expérimentales.
- pratiquer un raisonnement qualitatif ou quantitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.1 Changements d'état isobare de mélanges binaires	
Diagrammes isobares d'équilibre liquide-vapeur : - avec miscibilité totale à l'état liquide	Mettre en œuvre une distillation fractionnée à la pression atmosphérique et une

<p>- avec miscibilité nulle à l'état liquide</p> <p>Diagrammes isobares d'équilibre solide-liquide :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avec miscibilité totale à l'état solide - avec miscibilité nulle à l'état solide, avec ou sans composé défini à fusion congruente. <p>Théorème des moments chimiques.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p>	<p>hydrodistillation ou une distillation hétéroazéotropique.</p> <p>Construire un diagramme isobare d'équilibre entre deux phases d'un mélange binaire à partir d'informations relatives aux courbes d'analyses thermiques.</p> <p>Décrire les caractéristiques des mélanges homoazéotropes, hétéroazéotropes, indifférents, eutectiques et des composés définis.</p> <p>Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat.</p> <p>Exploiter les diagrammes isobares d'équilibre entre deux phases pour, à composition en fraction molaire ou massique donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tracer l'allure de la courbe d'analyse thermique en indiquant les degrés de liberté du système sur chaque partie de la courbe ; - déterminer les températures de début et de fin de changement d'état ; - donner la composition des phases en présence à une température T fixée ainsi que les quantités de matière dans chaque phase. <p>Interpréter une distillation simple, une distillation fractionnée, une distillation hétéroazéotropique à l'aide des diagrammes isobares d'équilibres liquide-vapeur.</p>
<p>1.2 Transformations physico-chimiques</p>	
<p>Application du premier principe</p> <p>Énoncé du premier principe</p> <p>État standard</p> <p>Enthalpie standard de réaction</p> <p>Loi de Hess</p> <p>Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément</p> <p>Enthalpie standard de dissociation de liaison</p> <p>Effets thermiques en réacteur monobare :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transfert thermique causé par la transformation chimique en réacteur isobare isotherme (relation $\Delta H = Q_p = \xi \Delta_r H^\circ$) - variation de température en réacteur adiabatique monobare. 	<p>Déterminer une enthalpie standard de réaction à température ambiante.</p> <p>Relier qualitativement la notion d'énergie interne aux descriptions microscopiques des systèmes chimiques.</p> <p>Déterminer une enthalpie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques ou de la loi de Hess.</p> <p>Prévoir le sens du transfert thermique entre un système en transformation chimique et le milieu extérieur à partir de données thermodynamiques.</p> <p>Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.</p>
<p>Application du deuxième principe</p> <p>Énoncé du deuxième principe</p>	<p>Relier qualitativement l'entropie à la notion d'ordre microscopique au sein d'un système</p>

<p>Identités thermodynamiques ; potentiel chimique. Enthalpie libre.</p> <p>Expression du potentiel chimique dans des cas modèles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - gaz parfaits - constituants condensés en mélange idéal - solutés infiniment dilués <p>Affinité chimique.</p> <p>Entropie molaire standard absolue. Entropie de réaction, enthalpie libre de réaction, grandeurs standard associées.</p> <p>Relation entre l'affinité chimique, $\Delta_r G^\circ$ et Q_r.</p> <p>L'équilibre physico-chimique. Constante thermodynamique d'équilibre ; relation de Van't Hoff Relation entre l'affinité chimique, K° et Q_r.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Optimisation d'un procédé chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - par modification de la valeur de K° - par modification de la valeur du quotient réactionnel. 	<p>Écrire les identités thermodynamiques pour les fonctions U, H et G.</p> <p>Distinguer et justifier les caractères intensif ou extensif des variables utilisées.</p> <p>Exprimer l'enthalpie libre d'un système chimique en fonction des potentiels chimiques. Déterminer une variation d'enthalpie libre, d'enthalpie et d'entropie entre deux états du système chimique.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter de l'influence de la pression sur le potentiel chimique et d'applications au laboratoire, en industrie ou dans le vivant.</p> <p>Relier affinité chimique et création d'entropie lors d'une transformation d'un système physico-chimique. Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique dans un état donné à l'aide de l'affinité chimique.</p> <p>Justifier ou prévoir le signe de l'entropie standard de réaction. Déterminer une grandeur standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques ou de la loi de Hess. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre à une température quelconque.</p> <p>Reconnaître si une variable intensive est ou non un facteur d'équilibre. Dénombrer les degrés de liberté d'un système à l'équilibre et interpréter le résultat.</p> <p>Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une ou plusieurs réactions chimiques.</p> <p>Identifier les paramètres d'influence et leur sens d'évolution pour optimiser une synthèse ou minimiser la formation d'un produit secondaire indésirable.</p>
---	---

2. ÉNERGIE CHIMIQUE ET ENERGIE ELECTRIQUE : CONVERSION ET STOCKAGE

Enjeux économiques et sociétaux de première importance, la maîtrise des énergies et la limitation des pollutions concernent tout particulièrement le chimiste et s'appuient, entre autres, sur des techniques et des technologies faisant appel à l'électrochimie. On peut citer la mise au point de capteurs

électrochimiques (analyse d'eaux ou d'effluents industriels), de traitements dépolluants (procédés d'oxydation avancée ou de réductions catalytiques), d'électrodéposition (traitements de surface améliorant la durée de vie), d'électrosynthèse (préparations ou purifications électrolytiques contrôlées), la conception ou l'amélioration des batteries (automobiles, appareils électriques portatifs ...), les recherches sur les biopiles (enzymatiques ou microbiennes), la lutte contre la corrosion. Cette partie du programme vient en prolongement des acquis de première année concernant les réactions d'oxydoréduction et des acquis de deuxième année en thermodynamique des transformations physico-chimiques.

Les objectifs sont les suivants :

- compléter l'ensemble des outils de la thermodynamique de la réaction d'oxydoréduction en solution aqueuse ;
- aborder la cinétique des processus électrochimiques en solution aqueuse.

Les notions de thermodynamique sont appliquées au cas de systèmes physico-chimiques sièges de réactions d'oxydoréduction et au fonctionnement de piles électrochimiques. L'étude cinétique des réactions électrochimiques se démarque de la cinétique chimique étudiée en première année par la méthode expérimentale mise en œuvre et la modélisation des phénomènes.

L'utilisation des courbes courant-potentiel permet une description précise du fonctionnement des dispositifs électrochimiques mettant en jeu les conversions énergie chimique-énergie électrique, qu'ils soient sièges de réactions d'oxydoréduction spontanées (piles électrochimiques, piles à combustible) ou forcées (électrolyseurs, accumulateurs). L'approche, volontairement qualitative, ne requiert aucun formalisme physique ou mathématique. Les caractéristiques générales des courbes courant-potentiel sont présentées sur différents exemples afin que les étudiants soient capables de proposer l'allure qualitative de ces courbes à partir d'un ensemble de données cinétiques et thermodynamiques fournies.

Dans ce cadre, l'approche expérimentale peut aller du tracé de courbes courant-potentiel à l'exploitation de courbes fournies pour mettre en œuvre et analyser un protocole ou le fonctionnement d'un dispositif électrochimique.

Le réinvestissement de ces notions et capacités liées à la thermodynamique et la cinétique des phénomènes d'oxydo-réduction permet d'appréhender les phénomènes de corrosion humide par le biais d'une approche documentaire.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- faire preuve de rigueur dans la définition et la description du système physico-chimique étudié ;
- élaborer qualitativement des outils graphiques à partir d'un ensemble de données ;
- pratiquer un raisonnement par analogie pour décrire le fonctionnement d'un dispositif électrochimique ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif ou quantitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1 Thermodynamique des réactions d'oxydoréduction	
Relation entre affinité chimique d'une réaction et potentiels de Nernst des couples mis en jeu.	Déterminer des grandeurs standard de réaction par l'étude de piles. Énoncer la relation entre l'affinité chimique d'une réaction et les potentiels de Nernst des couples mis en jeu.
Relation entre enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard des couples impliqués.	Déterminer l'enthalpie libre standard d'une réaction d'oxydoréduction à partir des potentiels

<p>Approche thermodynamique du fonctionnement d'une pile électrochimique.</p> <p>Irréversibilité et travail électrique maximum récupérable.</p>	<p>standard des couples. Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple d'oxydoréduction à partir de données thermodynamiques (constantes d'équilibre, potentiels standard).</p> <p>Relier tension à vide d'une pile et enthalpie libre de réaction.</p> <p>Établir l'inégalité reliant la variation d'enthalpie libre et le travail électrique. Décrire le fonctionnement d'une pile électrochimique.</p>
<p>2.2 Cinétique des réactions d'oxydoréduction</p>	
<p>Courbes courant-potentiel sur une électrode :</p> <ul style="list-style-type: none"> - systèmes rapides et systèmes lents - surtension - nature de l'électrode - courant limite de diffusion - vagues successives - domaine d'inertie électrochimique du solvant. <p>Utilisation des courbes courant-potentiel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transformations spontanées <ul style="list-style-type: none"> - notion de potentiel mixte - fonctionnement d'une pile électrochimique - Transformations forcées <ul style="list-style-type: none"> - électrolyseurs - accumulateurs 	<p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de tracé ou d'utilisation de courbes courant-potentiel.</p> <p>Relier vitesse de réaction électrochimique et intensité du courant.</p> <p>Reconnaître le caractère lent ou rapide d'un système à partir de courbes courant-potentiel.</p> <p>Identifier les espèces électroactives pouvant donner lieu à une limitation en courant par diffusion.</p> <p>Relier qualitativement, ou quantitativement à partir des courbes courant-potentiel, l'intensité du courant limite de diffusion à la concentration du réactif, au nombre d'électrons échangés et à la surface immergée de l'électrode.</p> <p>Tracer l'allure de courbes courant-potentiel à partir de données de potentiels standard, concentrations et surtensions « seuil ».</p> <p>Identifier les paramètres d'influence du domaine d'inertie électrochimique du solvant.</p> <p>Positionner qualitativement un potentiel mixte sur un tracé de courbes courant-potentiel.</p> <p>Identifier piles, accumulateurs et électrolyseurs comme des dispositifs permettant les conversions entre énergie chimique et énergie électrique.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour expliquer le fonctionnement d'une pile électrochimique et prévoir la valeur de la tension à vide.</p> <p>Utiliser les courbes courant-potentiel pour rendre compte du fonctionnement d'un dispositif siège</p>

d'une électrolyse et prévoir la valeur de la tension de seuil.

Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier les contraintes dans la recharge d'un accumulateur.

Citer les paramètres influençant la résistance interne du dispositif électrochimique.

Utiliser les courbes courant-potentiel pour justifier la nécessité :

- de purifier une solution électrolytique avant l'électrolyse
- de choisir les électrodes permettant de réaliser l'électrolyse voulue.

Déterminer un rendement faradique à partir d'informations fournies concernant le dispositif étudié.

Évaluer la masse de produit formé pour une durée et des conditions données d'électrolyse.

Approche documentaire : à partir de documents relatifs à la corrosion humide, identifier et analyser les facteurs d'influence et les méthodes de protection.

3. ATOMES, MOLECULES, COMPLEXES : MODELISATION QUANTIQUE ET REACTIVITE

La catalyse par les complexes des métaux de transition trouve de très nombreuses applications comme par exemple la réaction de Heck en chimie fine, la carbonylation du méthanol en chimie industrielle, les processus de respiration et de photosynthèse en chimie du vivant. Cette catalyse s'inscrit dans la démarche de la chimie verte et permet des synthèses dans des conditions douces. La compréhension de ces systèmes catalytiques nécessite l'analyse détaillée de la structure électronique des complexes par l'utilisation des orbitales atomiques et moléculaires.

Ces nouveaux modèles de description de la matière à l'échelle microscopique complètent l'étude de la classification périodique et de la description des entités moléculaires abordées en première année. Par ailleurs, ils permettent d'interpréter la réactivité en chimie organique dans le cadre de l'approximation des orbitales frontalières.

Les objectifs de cette partie sont les suivants :

- la construction de diagrammes d'orbitales moléculaires ou leur interprétation en vue de la prévision de la réactivité d'une entité chimique (molécule, ion ou radical) ;
- l'exploitation de diagrammes d'orbitales moléculaires de complexes de métaux de transition dans le but d'interpréter les propriétés des liaisons dans ce type d'édifices et l'utilisation de ces complexes comme catalyseurs ou éléments structurants.

Les approximations usuelles de la théorie des orbitales atomiques et moléculaires seront présentées afin de mettre l'accent sur les limitations des modèles adoptés. La notion de fonction d'onde sera abordée sans qu'aucune formulation mathématique ne soit exigible.

La construction des diagrammes d'orbitales moléculaires est limitée aux cas des molécules A_2 ou AB , sans mélange d'orbitales s et p. En revanche, des diagrammes d'orbitales moléculaires avec mélanges

d'orbitales atomiques sur un même centre peuvent être fournies, l'étudiant devant alors les interpréter : remplissage des niveaux, identification des orbitales frontalières HO et BV, analyse du caractère liant, antiliant ou non liant d'une orbitale moléculaire. De même, la construction des diagrammes d'orbitales moléculaires de systèmes plus complexes est hors programme ; l'étudiant interprète ces diagrammes à partir des propriétés de deux fragments en interaction dont les orbitales sont fournies.

Les orbitales moléculaires des complexes à symétrie octaédrique sont interprétées de la même manière.

Dans le but de disposer de modèles simples applicables en chimie organique, l'approximation des orbitales frontalières permet de prévoir la réactivité électrophile ou nucléophile des espèces mises en jeu : ces orbitales peuvent être obtenues grâce à des logiciels ou à partir de bases de données, les unités d'énergie utilisables étant l'eV ou le kJ.mol⁻¹.

Les complexes organométalliques (notion étendue aux complexes à ligands organiques sans présence de liaison métal-carbone) sont utilisés comme catalyseurs : aucun cycle catalytique n'est exigible, mais les étapes élémentaires d'un cycle fourni doivent être reconnues par l'étudiant, les notions de cinétique de première année pouvant être réinvesties à cette occasion. Le formalisme de Green est hors-programme.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- utiliser la classification périodique des éléments pour déterminer, justifier ou comparer des propriétés physico-chimiques ;
- utiliser différentes représentations schématiques ou symbolique d'une entité ;
- comparer les apports et limites des différents modèles de description des entités chimiques ;
- relier structure et propriétés microscopiques aux grandeurs et comportements macroscopiques à l'aide de différents modèles ;
- pratiquer un raisonnement qualitatif à partir de représentations graphiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1 Orbitales atomiques	
Fonctions d'onde électroniques de l'atome d'hydrogène.	Interpréter $ \psi ^2$ comme la densité de probabilité de présence d'un électron en un point et le relier à la densité de charge.
Énergie et rayon associés à une orbitale atomique.	Prévoir, pour l'atome d'hydrogène et les ions hydrogénoïdes, l'évolution du rayon et de l'énergie associés à une orbitale atomique en fonction du nombre quantique principal.
Représentation graphique conventionnelle d'une orbitale atomique : zones nodales, signe des fonctions d'ondes réelles	Associer les orbitales atomiques aux niveaux d'énergie électroniques.
Orbitales des atomes polyélectroniques.	Dessiner l'allure des orbitales atomiques s, p et d
	Établir la configuration électronique d'un atome ou d'un ion dans son état fondamental.
	Relier l'évolution du rayon associé à une orbitale atomique à la charge effective.
	Relier l'évolution de l'énergie associée à une orbitale atomique à l'électronégativité.
Notion qualitative de charge effective.	Relier le rayon associé aux orbitales de valence d'un atome à sa polarisabilité.
3.2 Orbitales moléculaires et réactivité	
Méthode de Combinaison Linéaire des Orbitales Atomiques.	Identifier les conditions d'interaction de deux orbitales atomiques : recouvrement et critère

<p>Interaction de deux orbitales atomiques sur deux centres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recouvrement • Orbitales liante, antiliante, non liante • Énergie d'une orbitale moléculaire • Orbitale σ, orbitale π • Représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire par schématisation graphique de la combinaison linéaire des orbitales atomiques. 	<p>énergétique.</p> <p>Construire des orbitales moléculaires de molécules diatomiques par interaction d'orbitales atomiques du même type (s-s, p-p).</p> <p>Reconnaître le caractère liant, antiliant, non liant d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Identifier la symétrie σ ou π d'une orbitale moléculaire à partir de sa représentation conventionnelle ou d'une surface d'iso-densité.</p> <p>Proposer une représentation conventionnelle d'une orbitale moléculaire tenant compte d'une éventuelle dissymétrie du système. Justifier la dissymétrie d'une orbitale moléculaire obtenue par interaction d'orbitales atomiques centrées sur des atomes d'éléments différents.</p> <p>Prévoir l'ordre énergétique des orbitales moléculaires et établir qualitativement un diagramme énergétique d'orbitales d'une molécule diatomique.</p>
<p>Interaction d'orbitales de fragments</p>	<p>Justifier l'existence d'interactions entre orbitales de fragment en termes de recouvrement ou d'écart d'énergie.</p>
<p>Diagramme d'orbitales moléculaires : occupation, orbitales frontalières haute occupée et basse vacante, cas des entités radicalaires.</p>	<p>Décrire l'occupation des niveaux d'un diagramme d'orbitales moléculaires. Identifier les orbitales frontalières à partir d'un diagramme d'orbitales moléculaires de valence fourni. Interpréter un diagramme d'orbitales moléculaires obtenu par interaction de deux fragments donnés.</p>
<p>Ordre de liaison des molécules diatomiques</p>	<p>Relier dans une molécule diatomique l'évolution de la longueur et de la constante de force de la liaison à l'évolution de l'ordre de liaison.</p>
<p>Prévision de la réactivité : approximation des orbitales frontalières</p>	<p>Utiliser les orbitales frontalières pour prévoir la réactivité nucléophile ou électrophile d'une molécule. Interpréter l'addition nucléophile sur le groupe carbonyle et la substitution nucléophile en termes d'interactions frontalières. Comparer la réactivité de deux entités à l'aide des orbitales frontalières.</p> <p>Approche numérique : utiliser un logiciel de modélisation pour l'obtention d'orbitales moléculaires en vue d'une interprétation de la</p>

	<p>réactivité.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents illustrant l'existence de bandes d'énergie dans les solides, analyser les propriétés de conduction électrique de matériaux.</p>
3.3 Application de la théorie des orbitales moléculaires aux complexes	
<p>Orbitales moléculaires de valence des complexes métalliques octaédriques : interactions entre fragments pour des ligands σ-donneurs intervenant par une seule orbitale.</p> <p>Ligands π-donneurs et π-accepteurs Coordination des systèmes π non délocalisés</p>	<p>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu la synthèse, l'analyse, la réactivité ou la caractérisation d'un complexe d'un métal de transition.</p> <p>Identifier parmi les orbitales de fragment fournies celles qui interagissent.</p> <p>Expliquer la levée partielle de dégénérescence des orbitales d. Établir la configuration électronique de valence d'un complexe dont le diagramme d'orbitales est donné.</p> <p>Reconnaître un ligand ayant des effets π à partir de la donnée de ses orbitales de valence. Identifier les interactions orbitalaires possibles entre orbitales atomiques d d'un métal et le système π d'un alcène ou d'un ligand carbonyle. Expliquer par une approche orbitalaire la coordination des systèmes π sur un fragment métallique donné.</p>
3.4 Activité catalytique des complexes	
<p>Cycles catalytiques.</p> <p>Processus élémentaires : addition oxydante, insertion et processus inverses.</p>	<p>Établir l'équation de réaction à partir d'un cycle catalytique donné. Distinguer catalyseur et précurseur de catalyseur.</p> <p>Déterminer une variation de nombre d'oxydation d'un métal au sein d'un complexe au cours d'une étape élémentaire d'un cycle donné. Reconnaître les étapes élémentaires d'un mécanisme donné. Donner le produit d'un acte élémentaire dont les réactifs sont précisés.</p> <p>Interpréter la modification de réactivité d'un alcène par les phénomènes électroniques mis en jeu lors de sa coordination.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents impliquant des transformations en chimie bio-inorganique, analyser le rôle catalytique ou structurant des complexes métalliques.</p>

4. MOLÉCULES ET MATÉRIAUX ORGANIQUES : STRATÉGIES DE SYNTHÈSE ET APPLICATIONS

Médicaments, produits phytosanitaires, matériaux polymères de synthèse aussi différents que les latex de peinture ou les boucliers thermiques des véhicules spatiaux, synthèses en chimie fine ou productions de fort tonnage découlent d'une démarche d'ingénierie moléculaire s'appuyant entre autres sur les apports de la chimie organique. L'élaboration, l'identification des structures et la prévision de la réactivité des molécules obéissent à des règles fondamentales dont les principes sont abordés dans les programmes de chimie des deux années de TPC.

Le programme de TPC2 s'inscrit dans la continuité de celui de TPC1 et poursuit les objectifs suivants :

- s'approprier la logique de la synthèse organique grâce aux compléments de formation relatifs aux conversions de groupes caractéristiques et à la création de liaison carbone-carbone ;
- consolider et compléter les connaissances des mécanismes fondamentaux et les capacités relatives à leur écriture à l'aide du formalisme des flèches courbes et des orbitales moléculaires.

L'approche retenue privilégie donc l'aspect mécanistique et la stratégie de synthèse à une présentation monographique, mais l'enseignant dispose de sa liberté pédagogique pour construire la progression de son choix.

L'enseignement de la chimie organique s'appuie sur les connaissances et capacités acquises en thermodynamique et cinétique chimiques et exploite les modèles orbitaux de description des structures et de la réactivité, introduits dans la partie « modélisation quantique et réactivité ». D'une part, l'utilisation des orbitales frontalières permet la prévision des géométries d'approche des réactifs et, dans le cas où l'évolution du système est sous contrôle frontalière, la prévision de la structure du produit majoritaire dans la transformation. D'autre part, l'étude de quelques cycles catalytiques permet de construire ou de réinvestir les compétences relatives aux complexes de métaux de transition. Aucune étude des propriétés intrinsèques des ligands carbène impliqués dans les réactions de métathèse n'est à envisager. Lors des épreuves d'évaluation, les orbitales frontalières comme les différentes étapes des cycles catalytiques sont systématiquement fournies aux étudiants.

Le cours et les activités s'appuient sur des exemples issus aussi bien des domaines de la chimie fine, de la chimie du vivant et de la chimie industrielle et permettent une sensibilisation aux principes de la chimie verte. Ils permettent aussi d'illustrer la richesse des applications des matériaux polymères.

À travers les capacités et contenus exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront par la suite être réinvesties, consolidées et valorisées, parmi lesquelles :

- choisir le ou les modèle(s) pertinent(s) de description géométrique, électronique ou orbitale d'une espèce chimique pour rendre compte de sa réactivité ;
- identifier dans une entité complexe la partie utile au raisonnement ;
- utiliser des modèles de prédiction de l'évolution du système dans le cadre des transformations proposées ;
- pratiquer un raisonnement par analogie (analyse de réactivités et écriture de mécanismes) ;
- proposer une stratégie de synthèse dans le cadre d'un problème ouvert.

Notions et contenus	Capacités exigibles
	Identifier et nommer les groupes caractéristiques présents dans une entité donnée. Discuter des aspects thermodynamiques et cinétiques des transformations effectuées à l'aide de données tabulées et de résultats expérimentaux.

	<p>Identifier les sites électrophiles et nucléophiles des réactifs à l'aide de leurs structures de Lewis ou de leurs orbitales frontalières. Expliciter à l'aide des orbitales frontalières la géométrie d'approche entre réactifs conduisant aux produits primaires.</p> <p>Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser une transformation en chimie organique. Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique.</p>
<p>4.1 Stratégie de synthèse : activation et protection de fonctions</p>	
<p>- Synthèse et utilisation d'esters d'acides minéraux pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> la formation d'alcène par élimination basique sur un ester de sulfonyle (conditions opératoires) la formation d'halogénoalcanes par substitution sur un ester de sulfonyle (conditions opératoires) la formation d'époxyde par substitution intramoléculaire <p>- Activation électrophile du groupe carbonyle : acétalisation des aldéhydes et cétones : conditions expérimentales (APTS, appareil de Dean-Stark) ; mécanisme limite de l'acétalisation en milieu acide</p> <p>- Protection et déprotection des alcools par les étheroxydes et les éthers silylés</p>	<p>Reconnaître une étape d'activation au sein d'une synthèse.</p> <p>Proposer des modes d'activation de fonction.</p> <p>Expliquer les modifications de réactivité impliquées par l'activation.</p> <p>Reconnaître une séquence de protection/déprotection dans une synthèse.</p> <p>Identifier l'étape de synthèse qui requiert une séquence protection/déprotection.</p> <p>Proposer des modes de protection de fonction in situ pour la conversion sélective de fonctions.</p>
<p>4.2 Conversion de groupes caractéristiques</p>	
<p>Additions sur les hydrocarbures insaturés</p> <p>- De l'alcène à l'alcool :</p> <ul style="list-style-type: none"> hydratation acide : problématique des transpositions, mécanisme schématique. hydroboration d'un alcène terminal par le borane : régiosélectivité, mécanisme limite de l'addition du borane sur l'alcène ; hydrolyse oxydante. <p>- De l'alcène au diol</p> <ul style="list-style-type: none"> époxydation directe par un peroxyacide ; réactivité comparée des alcènes. Ouverture des époxydes en milieu basique : mécanisme, élaboration de diols anti. 	<p>Discuter de la stabilité des ions carbénium intermédiaires. Expliquer la formation de certains produits par des transpositions.</p> <p>Interpréter la régiosélectivité de l'hydroboration à l'aide des effets stériques.</p> <p>Justifier l'usage d'une base comme l'hydrogénocarbonate de sodium dans l'élaboration de l'époxyde. Discuter de la régiosélectivité de l'époxydation sur un polyène.</p>

<p>utilisation catalytique de métaux de transitions pour l'obtention de diols syn</p> <p>- De l'alcène à l'alcane et de l'alcyne à l'alcène : hydrogénation catalytique en catalyse hétérogène : aspects stéréochimiques, mécanisme de la catalyse hétérogène.</p> <p>hydrogénation en catalyse homogène.</p>	<p>Justifier la régiosélectivité et la stéréosélectivité de l'ouverture nucléophile d'un époxyde, en l'absence d'activation par un acide de Lewis ou de Bronsted.</p> <p>Choisir des conditions expérimentales adaptées à l'obtention d'une stéréochimie déterminée pour un diol.</p> <p>Identifier les différents types d'interactions entre le catalyseur hétérogène et les réactifs. Interpréter la stéréospécificité syn de l'addition du dihydrogène à l'aide du mécanisme en catalyse hétérogène.</p> <p>Identifier les processus élémentaires intervenant lors de l'hydrogénation en catalyse homogène.</p>
<p>Additions nucléophiles suivies d'élimination</p> <p>- De l'acide carboxylique aux amides et aux esters : Activation du groupe carboxyle : ex situ sous forme d'un chlorure d'acyle ou d'un anhydride ; in situ par protonation, par formation d'un anhydride mixte.</p> <p>Synthèse des esters à partir des acides carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p> <p>Synthèse des amides à partir des acides carboxyliques, des chlorures d'acyle et des anhydrides : aspects cinétiques et thermodynamiques, mécanismes limites.</p> <p>- Des amides ou esters à l'acide carboxylique : Hydrolyses acide et basique des esters et des amides : conditions opératoires. Mécanisme limite de la saponification.</p>	<p>Comparer les réactivités électrophiles des acides carboxyliques, chlorures d'acyle, anhydrides, esters, amides, les aptitudes nucléofuges des groupes partants dans les molécules correspondantes et en déduire l'importance de l'activation du groupe carboxyle.</p> <p>Proposer et/ou analyser différents moyens d'activation d'un groupe carboxyle.</p> <p>Expliquer comment obtenir un bon rendement de synthèse d'ester à partir d'un alcool primaire ou secondaire et d'un acide carboxylique, selon la méthode d'activation choisie et les conditions expérimentales.</p> <p>Justifier le choix des conditions opératoires retenues pour la synthèse des amides.</p> <p>Utiliser la formation des esters et des amides dans le cadre d'une stratégie de synthèse nécessitant la protection d'un groupe hydroxyle ou d'un groupe amino. Déduire de la structure d'un polyester ou d'un polyamide la formule du ou des monomères correspondants et réciproquement.</p> <p>Justifier le choix des conditions opératoires d'hydrolyse.</p>

<p>- Protection des fonctions acide carboxylique et amine</p>	<p>Justifier et proposer les séquences estérification-hydrolyse ou synthèse-hydrolyse d'amide dans une stratégie de protection-déprotection</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents relatifs à la synthèse peptidique, analyser les stratégies de synthèse in vitro et in vivo.</p>
<p>Conversion par oxydoréduction</p> <p>- Réduction des composés carbonylés en alcools par action du tétrahydruroborate de sodium (conditions opératoires, mécanisme réactionnel).</p> <p>- Oxydation des alcools selon leur classe ; principe de l'oxydation contrôlée des alcools primaires.</p> <p>- De l'acide ou de l'ester à l'aldéhyde ou à l'alcool et inversement ; mécanisme schématique de la réduction des esters.</p>	<p>Identifier les produits de la réduction d'un composé carbonylé. Proposer des conditions expérimentales adaptées à l'utilisation de réducteurs à base d'hydrures.</p> <p>Identifier le produit d'oxydation d'un alcool à l'aide de données expérimentales ou spectroscopiques.</p> <p>Interpréter la réduction d'un ester en alcool primaire en assimilant le réactif à un ion hydrure nucléophile. Identifier le produit de réduction d'un ester par un hydrure complexe, à l'aide de données fournies (chimiques et/ou spectroscopiques). Reconnaître ou proposer dans une stratégie de synthèse le principe de la conversion entre un ester et un aldéhyde ou un alcool primaire.</p>
<p>4.3 Création de liaisons CC</p>	
<p>Réactions de Diels-Alder</p> <p>Diastéréosélectivité, stéréospécificité, régiosélectivité, influence de la structure des réactifs sur la vitesse de la transformation (règle d'Alder). Réactions de rétro-Diels-Alder.</p>	<p>Interpréter les résultats cinétiques, stéréochimiques et la régiosélectivité d'une réaction de Diels-Alder sous contrôle cinétique.</p> <p>Identifier les interactions orbitales principales et, le cas échéant, secondaires. Interpréter la préférence d'une approche de type endo, le cas échéant.</p>
<p>Réactivité nucléophile des énolates</p> <p>Acidité d'un composé carbonylé. Généralisation aux composés analogues (esters, β-dicétones, β-cétosters). Ordres de grandeur des pK_A des couples correspondants.</p> <p>C-alkylation en position alpha d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite, régiosélectivité.</p> <p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique aqueux ou alcoolique. Aldolisation (cétolisation) croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme, intérêt synthétique.</p>	<p>Écrire la base conjuguée d'un composé carbonylé énolisable dans le formalisme de la mésomérie. Proposer et justifier le choix d'une base permettant de déprotoner un composé carbonylé ou un analogue.</p> <p>Justifier la réactivité nucléophile ambidente de l'énolate dans le formalisme de la mésomérie ou par l'analyse de ses orbitales frontalières.</p> <p>Décrire les interactions entre orbitales frontalières des réactifs Interpréter la régiosélectivité de l'alkylation des composés carbonylés.</p> <p>Choisir dans le cadre d'une stratégie de synthèse les meilleures conditions de préparation d'un aldol (cétol) issu d'une aldolisation (cétolisation) croisée.</p>

<p>Réaction de Michael sur une α-énone ; mécanisme.</p>	<p>Justifier par la compétition avec l'aldolisation l'impossibilité d'alkyler un aldéhyde.</p> <p>Interpréter la régiosélectivité de l'addition sur une α-énone à l'aide du modèle des orbitales frontalières.</p> <p>Identifier dans une analyse rétrosynthétique les réactifs permettant de réaliser une addition de Michael sur une α-énone.</p>
<p>Utilisation des organométalliques en synthèse</p> <p>Synthèse des alcools par action des organomagnésiens sur les époxydes: bilan, mécanisme schématique.</p> <p>Addition régiosélective d'organolithiens ou d'organocuprates lithiés sur les α-énones</p>	<p>Proposer une synthèse magnésienne d'un alcool.</p> <p>Proposer des synthèses régiosélectives d'une molécule cible à l'aide d'un organométallique.</p>
<p>Création de liaisons C=C</p> <p>Réaction de Wittig</p> <p>Métathèse des alcènes</p>	<p>Identifier le dérivé carbonylé et le dérivé halogéné, précurseur de l'ylure, mis en œuvre dans la création d'une liaison C=C par une réaction de Wittig.</p> <p>Identifier des précurseurs possibles pour synthétiser un alcène par métathèse. Reconnaître catalyseur et précurseur de catalyseur dans le ou les cycles décrivant le mécanisme d'une métathèse. Identifier dans un cycle catalytique de métathèse les réactifs et produits.</p>
<p>4.4 Matériaux organiques polymères</p>	
<p>Architecture moléculaire Macromolécules linéaires et réseaux Masses molaires moyennes en nombre et en masse d'un polymère non réticulé Indice de polymolécularité</p> <p>Les différents états physiques Interactions entre macromolécules. Transition vitreuse. Polymère amorphe, semi-cristallin.</p> <p>Propriétés mécaniques Matériaux thermoplastiques Élastomères</p>	<p>Repérer l'unité de répétition au sein d'une macromolécule naturelle ou artificielle. Relier l'allure de la courbe de distribution de masses molaires à l'indice de polymolécularité.</p> <p>Distinguer interactions faibles et réticulation chimique. Déterminer l'état physique d'un polymère à la température d'étude.</p> <p>Associer un diagramme de traction à un type de matériau à température fixée. Analyser une courbe d'évolution du module d'Young avec la température.</p>

Appendice 1 : matériel

Cette liste complète celle donnée en annexe 1 du programme de chimie de la classe de TPC1. Elle regroupe avec celle-ci le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de ces listes lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

- Multimètre, millivoltmètre et électrodes
- Calorimètre
- Chromatographie en phase gazeuse

Appendice 2 : outils mathématiques

Les outils mathématiques dont la maîtrise est nécessaire à la mise en œuvre du programme de chimie TPC2 sont d'une part ceux qui figurent dans l'appendice 2 du programme de TPC1 et d'autre part ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

Les capacités relatives à la notion de différentielle d'une fonction de plusieurs variables sont limitées à l'essentiel, elles seront mobilisées principalement dans le cours de chimie sur la thermodynamique de la transformation chimique ; les fondements feront l'objet d'une étude dans le cadre du chapitre « calcul différentiel » du cours de mathématique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Calcul différentiel	
Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Intégration de l'expression d'une dérivée partielle.	Intégrer une expression de la forme $\partial f / \partial x = g(x,y)$ à y fixé en introduisant une fonction $\phi(y)$ inconnue comme « constante d'intégration ».

Programme de Physique-Chimie de TB 1^{ère} année

Les objectifs généraux de la formation en deux années

La filière TB constitue la première étape d'une formation d'ingénieurs et de vétérinaires proposée aux bacheliers de la voie technologique, reposant sur la connaissance du monde du vivant, sur la compréhension des lois de la matière et sur l'interaction entre l'Homme et son environnement. Les domaines d'activités visés lors de l'insertion professionnelle à l'issue de la formation sont variés et les responsabilités touchent à des secteurs vitaux pour la société, tels que la santé animale, l'agriculture, l'agroalimentaire, l'eau, l'environnement, la prospection minière, l'aménagement du territoire.

La formation dispensée en classe préparatoire vise à donner à tous les élèves un socle de compétences et de capacités spécifiques et interdisciplinaires, tout en développant chez eux des attitudes telles que la curiosité, le sens critique ou la prise de décision. Les compétences acquises par les élèves doivent pouvoir être réinvesties tout au long de leur formation et de leur vie professionnelle.

L'enseignement de physique-chimie poursuit la construction de **compétences scientifiques**, cognitives et réflexives, déjà ébauchées au lycée. Les étudiants doivent maîtriser la démarche scientifique, être en mesure d'identifier un problème scientifique et de mobiliser les ressources pertinentes pour le résoudre, maîtriser la recherche d'informations et la conduite d'un raisonnement, analyser de manière critique la qualité d'une mesure et les limites d'une modélisation. Pendant cette formation, les étudiants doivent aussi acquérir des **compétences en autonomie et créativité** : autonomie de réflexion et de modélisation, prise d'initiative, recul critique sont propices au développement de l'esprit d'innovation. La formation en physique-chimie contribue aussi à l'acquisition de **compétences organisationnelles et sociales**, notamment lors du travail partagé au sein d'un groupe au cours des activités expérimentales ou documentaires. Et il participe à la consolidation des **compétences de communication**, écrite ou orale.

La formation en physique et chimie en première année

Le programme de physique-chimie de la classe de TB1 s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus de vétérinaire, d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en TB1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique et de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles étaient le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Les liens de la physique et de la chimie avec les sciences de la vie et de la Terre doivent aussi être soulignés : les exemples choisis par le professeur pour illustrer les enseignements de physique et de chimie doivent être préférentiellement en lien avec la biologie ou les sciences de la Terre. Là aussi c'est l'opportunité de mener d'éventuelles démarches collaboratives avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois parties :

1. dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
2. dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de

l'année scolaire. Leur mise en œuvre à travers les activités doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la troisième partie. Elles doivent faire l'objet de la part du professeur d'une programmation visant à s'assurer de l'apprentissage progressif de l'ensemble des capacités attendues.

3. dans la troisième partie sont décrites les connaissances et capacités associées aux **contenus disciplinaires**. Elles sont organisées en deux colonnes : à la première colonne « notions et contenus » correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la deuxième colonne. Celle-ci met ainsi en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Elle est organisée sur deux semestres. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre les grandeurs physiques introduites sont essentiellement des grandeurs scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on utilise les grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.

Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche documentaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

Dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.
- il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mise en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences de la vie et de la Terre.

Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement.

Ce programme fait donc une large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation de praticien, d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques répondent à des objectifs complémentaires :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en annexe de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en annexe du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale. - définir les objectifs correspondants.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - formuler et échanger des hypothèses. - proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - proposer un modèle associé. - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un protocole. - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée. - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - analyser les résultats de manière critique. - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - à l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ; o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; o s'appuyer sur des schémas, des graphes adaptés. - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul ou en équipe. - solliciter une aide de manière pertinente. - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, doivent être développées les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les étudiants de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Cette activité est adaptée tant à une évaluation écrite où l'étudiant progresse en complète autonomie qu'à une évaluation orale pouvant s'enrichir d'une interaction avec un examinateur qualifié.

Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue (réaction chimique voisine ...).
Etablir une stratégie de résolution (analyser)	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois qui seront utilisées, le type de réaction mise en œuvre, ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle.
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, autre voie de synthèse...).
Communiquer.	Présenter la solution, ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne « capacités exigibles » relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" : histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, contribution des sciences à des questions sociétales ou au développement industriel... Elles doivent permettre de

développer des compétences d'analyse et de synthèse. Elles reposent sur l'utilisation d'articles de revues scientifiques spécialisées ou de vulgarisation, de documents extraits de sites institutionnels ou reconnus par la communauté scientifique, d'ouvrages scientifiques de référence, ou encore sur une vidéo, une photo ou un document produit par le professeur. Elle sensibilise également les étudiants à la diversité des supports de l'information, et au crédit que l'on peut accorder à une information.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la pratique de la formation expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la partie « contenus disciplinaires » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

D'une part, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

D'autre part, elle présente de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

1. Mesures et incertitudes

Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les étudiants doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les étudiants doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'appropriier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières scientifiques du lycée général et technologique. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les capacités identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	<p>Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique.</p> <p>Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.</p>
<p>Notion d'incertitude, incertitude-type.</p> <p>Évaluation d'une incertitude-type.</p> <p>Incertitude-type composée.</p> <p>Incertitude élargie.</p>	<p>Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.</p> <p>Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité).</p> <p>Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur.</p> <p>Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel.</p> <p>Comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreurs.</p> <p>Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.</p>
Présentation d'un résultat expérimental.	<p>Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance.</p> <p>Présenter une valeur à l'aide de la notation scientifique adaptée à la précision des mesures et/ou des données.</p>
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	<p>Utiliser un logiciel de régression linéaire.</p> <p>Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire.</p> <p>Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire.</p> <p>Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.</p>

2. Méthodes expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des méthodes expérimentales que les étudiants doivent acquérir durant les deux années de formation pendant les séances de travaux pratiques. Les capacités sont acquises plus particulièrement en liaison avec un thème du programme, ce qui ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul thème.

Le choix des activités peut être réalisé en fonction de la progression de l'enseignement des concepts tout en maintenant un équilibre entre les deux années de préparation. Ces activités sont l'occasion pour l'étudiant de développer le sens de l'initiative, le respect des règles de sécurité pour l'homme et pour l'environnement. Il doit connaître le principe des techniques indiquées et en réaliser la mise en œuvre expérimentale. Des notices simplifiées de fonctionnement et de réglage des appareils utilisés doivent lui être fournies.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>Règles de sécurité</p> <p>Techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chauffage à reflux, - addition d'un réactif au cours d'une réaction, - réaction en conditions anhydres, - traitement d'un brut réactionnel, - séparation et purification, <p>Analyse et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chromatographie sur couche mince, - dosage de prélèvements, - température de fusion, - indice de réfraction, - pouvoir rotatoire, - rendement. 	<p>Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit.</p> <p>Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire.</p> <p>Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux.</p> <p>Utiliser une ampoule de coulée.</p> <p>Conduire une réaction en milieu anhydre.</p> <p>Réaliser les opérations suivantes : filtration sous vide, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide.</p> <p>Mettre en œuvre les techniques suivantes : relargage, distillation fractionnée sous pression atmosphérique, hydrodistillation, recristallisation.</p> <p>Réaliser une chromatographie sur couche mince.</p> <p>Réaliser un prélèvement et effectuer un dosage</p> <p>Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.</p> <p>Définir et calculer le rendement d'une réaction.</p> <p>Mesurer une masse, un volume.</p>

Contenus disciplinaires

Les thèmes traités en première année

L'enseignement de physique-chimie est organisé en **thèmes**, poursuivant des objectifs de formation précisés en notions et capacités attendues. Dans les thèmes, les illustrations et les exemples ont avantage à s'appuyer sur la vie quotidienne, la recherche ou l'histoire des sciences, en balayant les domaines du vivant, de l'environnement ou de l'industrie. La première année est rythmée par cinq thèmes, répartis entre les deux semestres. Chaque thème poursuit des objectifs de formation spécifique et de transférabilité des compétences acquises. **Les activités documentaires et expérimentales sont précisées au regard des notions et capacités exigibles**, mais leur mise en œuvre est laissée à l'**appréciation pédagogique** du professeur, qui détermine notamment le choix des études de cas

Chaque thème comporte une brève introduction, qui fixe le cadre et les limites d'étude, suivie d'un tableau qui détaille les connaissances et capacités associées. Les notions abordées, qui doivent être connues des étudiants, figurent dans la colonne de gauche. La colonne de droite précise et encadre les capacités exigibles relatives à chaque notion.

En outre l'étudiant doit maîtriser les capacités transversales suivantes :

Notions	Capacités exigibles
Analyse dimensionnelle.	Vérifier l'homogénéité d'une expression littérale à partir d'une analyse dimensionnelle des termes présents. Définir un ordre de grandeur (durée, longueur) par analyse dimensionnelle d'une équation modélisant un phénomène.
Ordres de grandeur, puissances de 10, nombre de décimales.	Présenter une valeur à l'aide de la notation scientifique adaptée à la précision des données et/ou des mesures.
Résolution numérique d'équations et l'intégration numérique d'équations différentielles.	Utiliser un logiciel de calcul. Donner l'intérêt et les limites d'une résolution numérique d'une équation.

Premier semestre

I. Structure de la matière

La matière, sous différents états, est constituée d'atomes et de molécules en interaction. Au niveau microscopique, sa structure spatiale joue un rôle déterminant sur ses propriétés dans le monde du vivant et en synthèse organique.

L'enseignement de la structure de la matière illustre, sans prétendre à l'exhaustivité, l'organisation de la matière de l'échelle atomique à l'échelle supramoléculaire. Il explicite, de façon succincte et sans aucun débordement théorique, des concepts sur la structure des atomes, dont la finalité est de pouvoir lire et utiliser la classification périodique. La structure des molécules est envisagée sous le seul formalisme de Lewis, et leur géométrie est étudiée dans le cadre du modèle de Gillespie. L'exposé sur les interactions intermoléculaires est étroitement ancré aux applications en milieu biologique et en synthèse. Les états de la matière et les changements d'état font l'objet d'une étude ancrée à l'observation des phénomènes naturels. Les notions de stéréochimie s'inscrivent dans la continuité des notions introduites en classe de première. Elles visent à instruire sur les liens essentiels

entre structure spatiale et réactivité. L'importance de la structure tridimensionnelle des molécules est illustrée par des exemples tirés du monde du vivant.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. La structure de l'atome	
Quantification de l'énergie dans l'atome. Principe d'émission d'une lampe spectrale.	Relier les niveaux d'énergie de l'atome aux nombres quantiques.
Configuration électronique d'un atome ou d'un ion à l'état fondamental : principe d'exclusion de Pauli, règle de Klechkowsky, règle de Hund.	Déterminer la structure électronique d'un atome ou d'un ion à l'état fondamental.
Classification Périodique. Energie d'ionisation, affinité électronique et électronégativité de Pauling : évolution dans la classification périodique. Analogie et évolution des propriétés sur quelques exemples. Importance des éléments de transition en biologie.	Localiser les principales familles ou blocs dans la classification périodique. Extraire des informations sur un élément chimique de la classification périodique. Relier structure électronique et place d'un élément dans la classification périodique.
2. De l'atome aux édifices chimiques	
Liaison covalente : définition, propriétés. Modèle de Lewis, règle de l'octet et ses limites. Limite du modèle de Lewis : mésomérie, conjugaison, mésomérie. Méthode V.S.E.P.R.	Utiliser la règle de l'octet pour représenter quelques molécules simples. Utiliser le modèle de Lewis y compris dans les cas d'hypervalence ou de lacune électronique (ozone, dioxyde de soufre...). Ecrire les formes mésomères dans quelques cas simples, en particulier en chimie organique. Prévoir la géométrie de molécules simples jusqu'à AX ₆ . Activité : construire des modèles moléculaires et utiliser un logiciel de modélisation pour représenter et visualiser dans l'espace des molécules.
3. Cohésion et forces intermoléculaires	
Interaction de Van der Waals Liaison hydrogène inter et intramoléculaire Importance de ces interactions dans les milieux biologiques : bases azotés, □-aminoacides, protéines, ADN...	Comparer les ordres de grandeur des énergies dans les cas des liaisons de Van de Waals et covalente. Interpréter la cohésion des solides atomiques et moléculaires. Prévoir la solubilité d'une espèce dans l'eau. Approche documentaire : exploiter un document pour comprendre l'importance de ces interactions dans les molécules et systèmes biologiques (en lien avec l'enseignement de biotechnologie).
4. Les états de la matière	
Etats solide, liquide et gazeux. Etat condensé et état fluide. Les différentes échelles d'étude de la matière : microscopique, mésoscopique et macroscopique.	Définir et caractériser les différents états de la matière. Définir les différentes échelles d'étude de la matière et préciser leur intérêt. Décrire le niveau microscopique uniquement de manière qualitative.

5. Description d'un système	
Système isolé, fermé et ouvert. Paramètres ou variables d'état : définition, caractère intensif ou extensif. Fonction d'état et équation d'état. Homogénéité, phases.	Définir et reconnaître chaque type de système. Illustrer les définitions à l'aide d'exemples, entre autres issus du monde du vivant. Présenter les paramètres usuellement utilisés pour la description d'un système thermodynamique : pression, température, volume etc. Reconnaître et exploiter le caractère extensif ou intensif d'une variable d'état. Citer et définir les fonctions d'état usuellement utilisées en thermodynamique. Définir les grandeurs : fraction molaire, fraction massique, concentration molaire, concentration massique, masse volumique, densité.
Equilibre thermique : principe 0 de la thermodynamique, température absolue et température Celsius.	Enoncer et utiliser le principe 0 de la thermodynamique. Définir la température à partir de l'équilibre thermique. Utiliser les échelles Kelvin et Celsius, sans aucun développement calculatoire sur la construction de ces deux échelles.
Equilibre thermodynamique : définition.	Faire le lien entre l'équilibre thermodynamique et les équilibres mécanique, chimique et thermique.
6. Modèle macroscopique du gaz parfait	
Equation d'état.	Présenter succinctement l'allure des isothermes de gaz réels en coordonnées d'Amagat. Définir le gaz parfait comme limite du gaz réel et déduire son équation d'état.
Mélange idéal de gaz parfaits. Pression partielle.	Donner la définition de la pression partielle. Justifier et utiliser la loi de Dalton.
7. Fluides réels et phases condensées	
Fluides réels : équation d'état $f(P, V, T) = 0$. Coefficients thermoélastiques : α et χ_T .	Analyser une équation d'état sur une étude de cas (équation de Van der Waals ou autre équation non mémorisée) pour montrer les liens entre les termes correctifs et la nature attractive ou répulsive des interactions. Présenter une analyse qualitative de la signification des coefficients thermoélastiques. Traiter une application dans un cas simple sans développement calculatoire excessif ni établissement d'une équation d'état à partir des coefficients.
Phases condensées dans le cadre du modèle incompressible et indilatable.	Connaître les ordres de grandeurs des valeurs de α et χ_T pour une phase condensée. Discuter les hypothèses du modèle à partir de calculs d'ordre de grandeur. Approche documentaire : conduire une étude documentaire issue du monde géologique pour montrer les limites du modèle.

8. Stéréochimie	
8.1. Utiliser la représentation adaptée pour décrire la géométrie d'une molécule	
Représentation spatiale des molécules : en perspective et en projections de Cram, Newman et Fischer.	Représenter une molécule en choisissant la représentation la mieux adaptée. Passer d'une représentation à une autre.
Conformation, études de cas : éthane, butane, cyclohexane. Isomérisie cis-trans, substituant axial et équatorial, interconversion chaise-chaise.	Utiliser la représentation de Newman et passer d'une écriture perspective à la représentation Newman. Exploiter une échelle d'énergie pour discuter de la stabilité d'un conformère.
Stéréoisomérisie de configuration Z et E, R et S. Chiralité, énantiomérisie, diastéréoisomérisie.	Prévoir si une molécule présente une stéréoisomérisie de configuration et écrire les différents stéréoisomères de configuration, en utilisant la représentation adaptée. Construire des modèles moléculaires et utiliser un logiciel de modélisation pour représenter et visualiser des molécules.
Activité optique, mélange racémique. Loi de Biot.	Relier activité optique et structure moléculaire. Utiliser la loi de Biot. Discuter de la pureté énantiométrique d'un mélange. Connaître la définition d'un mélange racémique. Activité : mettre en œuvre une activité expérimentale pour mesurer un pouvoir rotatoire.
Lien entre stéréoisomérisie et propriétés biologiques.	Approche documentaire Extraire et exploiter des informations sur les propriétés (et la réactivité) des stéréoisomères.
Nomenclature D et L des oses et des α -aminoacides. Conséquence sur la structure chirale de l'hélice \square protéique.	Identifier les groupes caractéristiques et les atomes de carbone asymétriques d'un ose ou d'un α -aminoacide. Utiliser la représentation de Fischer. Interpréter la structure spatiale protéique.
8.2. Structure spatiale et réactivité	
Aspect macroscopique : modification de chaîne ou de groupe, réactions d'addition, de substitution, d'élimination. Aspect microscopique : liaison polarisée, site donneur et site accepteur de doublet d'électrons, site nucléophile ou électrophile.	Reconnaître le type de réaction à partir de l'équation bilan. Citer un exemple par type de réaction. Identifier un site nucléophile, un site électrophile. Reconnaître des nucléophiles usuels. Placer les flèches entre site donneur et site accepteur dans une étape d'un mécanisme.
Réactivité des dérivés monohalogénés d'alcane : - substitution nucléophile : mécanismes limites de types SN1 et SN2, - réaction d'élimination : mécanisme limite de type E1, règle de Zaitsev. Compétition entre SN1 et E1.	Ecrire les mécanismes du programme. Préciser les conséquences stéréochimiques des mécanismes limites. Discuter de la compétition entre les deux mécanismes en fonction de la stabilité du carbocation. Déterminer la régiosélectivité de l'élimination. Reconnaître les conditions favorisant l'élimination.

II. Équilibre macroscopique de la matière

L'équilibre apparent de la matière (à l'échelle humaine) peut se décrire grâce à un petit nombre de paramètres et d'outils prédictifs.

L'enseignement de l'équilibre macroscopique de la matière balaie le spectre des équilibres chimiques et mécaniques. L'équilibre chimique est introduit comme une donnée expérimentale, et l'existence d'une constante d'équilibre est admise. Les applications sont limitées à l'étude des réactions acido-basiques et d'oxydoréduction en solution aqueuse. L'enseignement d'acido-basicité a pour objectif de se limiter à des études de cas simples dont on perçoit l'intérêt en analyse ou en milieu biologique. L'enseignement d'oxydoréduction vise essentiellement à illustrer le concept prévisionnel de potentiel redox, pour prévoir le sens des échanges entre couples rédox dans un système chimique ou électrochimique. Il n'induit pas de développement théorique. L'équilibre mécanique fait l'objet d'une approche descriptive à l'échelle macroscopique mettant en jeu des forces simples. Il suscite l'étude de cas du fluide en équilibre, dont le champ d'application contient des éléments de la vie quotidienne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Les outils de description d'un système chimique en réaction	
Avancement d'une réaction chimique ; taux d'avancement.	Traduire une transformation par une équation bilan. Construire un tableau d'avancement et l'utiliser.
Activité d'un constituant dans un mélange idéal de constituants gazeux, liquides et solides et dans une solution aqueuse idéale. Equilibre chimique ; quotient de réaction Q_R et constante d'équilibre K° .	Exprimer l'activité d'un constituant dans le cas de l'idéalité. Expliciter une constante d'équilibre K° et un quotient de réaction Q_R . Justifier le sens d'évolution d'un système. Déterminer la composition d'un système à l'équilibre chimique.
Notion de transformation quantitative ou limitée.	Mettre en relation l'état final avec le caractère total ou limité d'une transformation.
2. Les réactions acido-basiques	
Couples acide-base en solution aqueuse Diagrammes de prédominance. Détermination du pH d'une solution par la méthode de la réaction prédominante : cas d'un acide faible, d'une base faible, d'une espèce amphotère. Exemple des α -aminoacides. Solutions tampon : propriétés, sans aspect quantitatif sur le pouvoir tampon.	Comparer la force de deux acides, de deux bases. Lire et exploiter un diagramme de prédominance, une courbe de distribution. Déterminer le pH d'une solution, en se limitant aux cas où une réaction est nettement prépondérante. Poser les hypothèses adaptées et les vérifier dans un calcul de détermination de pH. Activité : préparer une solution titrée par dissolution, mélange ou dilution. Activité : utiliser un simulateur pour prévoir la composition d'une solution à l'équilibre. Expliciter les propriétés des solutions tampon et leur intérêt dans les milieux biologiques.
3. Les réactions d'oxydoréduction	
Couples rédox. Pile électrochimique, potentiel d'électrode, formule de Nernst, potentiel standard. Réaction rédox. Constante d'équilibre, prévision du sens d'évolution spontané selon une réaction rédox.	Identifier l'oxydant et le réducteur dans un couple, en utilisant les nombres d'oxydation. Equilibrer une demi-équation rédox. Appliquer la formule de Nernst dans des cas simples. Prédire le sens de fonctionnement d'une pile. Equilibrer une réaction rédox. Exprimer la constante d'équilibre rédox en fonction des potentiels E° .

	<p>Prédire le sens spontané d'une réaction rédox. Déterminer les caractéristiques du système à l'équilibre. illustrer les échanges électroniques et les couplages en lien avec les enseignements de biotechnologie et de SVT.</p> <p>Réaliser une pile Approche documentaire conduire une activité documentaire sur une pile à combustible.</p>
4. Equilibre d'un point matériel	
Masse d'un point matériel.	Illustrer qualitativement le rôle de la masse en dynamique, lorsqu'il est question de relier le mouvement à ses causes.
Force : représentation vectorielle, cause du mouvement, cause de l'équilibre Exemples de forces	Décomposer une force dans une base. Connaître et utiliser les caractéristiques des forces usuellement rencontrées en mécanique du point : poids, poussée d'Archimède, tension exercée par un fil, force de rappel d'un ressort, force de frottement fluide proportionnelle à la vitesse, réaction d'un support sans frottement, force électrique subie par une particule chargée dans un champ électrique uniforme, d'origine non étudiée et non explicitée.
5. Statique des fluides	
Milieu continu. Définition de la particule de fluide. Champ de force dans un fluide au repos.	<p>Illustrer l'intérêt de l'échelle mésoscopique. Utiliser le fait que les variables d'état d'un fluide varient continûment à l'échelle macroscopique.</p> <p>Distinguer les forces volumiques (actions à distance ou interactions de longue portée : force de pesanteur) et les forces surfaciques (actions à courte portée : force de contact, pression). Etablir l'expression de la force volumique de pesanteur s'exerçant sur la particule de fluide. Etablir l'expression de la résultante des forces surfacique de pression s'exerçant sur la particule de fluide.</p>
Principe fondamental de la statique des fluides Applications : Cas des fluides homogènes et incompressibles. Mesure de pression : baromètre, manomètre Cas de l'atmosphère isotherme.	<p>Expliciter le principe dans le cas du champ de pesanteur uniforme, sans faire intervenir le gradient du champ de pression. Reconnaître la difficulté d'intégrer cette relation si la masse volumique ne peut pas être considérée comme une constante. Connaître les unités de pression (Pascal, bar et millimètre de mercure), sans tenir aucun développement calculatoire concernant ces échelles. Apprécier les limites de validité du modèle de pression dans un gaz, considérée en général comme uniforme en thermodynamique.</p>
Résultante des forces pressantes appliquées sur une surface.	Réaliser une étude limitée à des surfaces planes ou cylindriques en utilisant les symétries sans développement calculatoire excessif ni

	détermination du point d'application.
Théorème d'Archimède, énoncé sans démonstration	Conduire une étude limitée aux corps flottants. Approche documentaire conduire une étude documentaire sur la flottaison d'un corps ou le ballon dirigeable.

Deuxième semestre

III. Evolution temporelle

La connaissance de l'état initial et des lois qui régissent le système permet de prévoir son évolution au cours du temps.

L'étude de l'évolution temporelle d'un système vise aussi bien à comprendre son devenir chimique et son devenir mécanique. Les notions de cinétique chimique sont essentiellement illustrées par des exemples pris chez les êtres vivants, dans l'environnement et en synthèse. L'aspect cinétique des processus radioactifs est placé dans un contexte environnemental, industriel ou médical. Les éléments de cinétique formelle induisent l'usage d'un formalisme mathématique rigoureux, et la nécessité d'une confrontation du modèle avec des données expérimentales. La résolution analytique se limite cependant aux cas les plus simples de réactions d'ordre 0, 1 et 2, des cas plus complexes pouvant être éventuellement traités à l'aide de simulation numérique. La présentation des mécanismes réactionnels est conçue essentiellement dans le but d'éclairer la réactivité en chimie organique et de comprendre finement le rôle et le choix du catalyseur. Les notions de cinématique et de dynamique du point matériel ont pour objet de présenter aux élèves les liens qui unissent force, mouvement et énergie, sans aborder la notion de puissance mécanique. Les référentiels galiléens sont utilisés sans justification de leur existence. Reposant sur la maîtrise de grandeurs vectorielles dépendantes du temps, l'enseignement se limite à des modélisations simples dont la résolution analytique reste accessible au profil des étudiants de la filière. L'utilisation de l'outil numérique et de logiciels d'intégration peut être l'occasion d'étudier des cas plus complexes, proches de la réalité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Vitesse de réaction	
Avancement d'une transformation. Vitesse de réaction dans l'unique cas où le volume est constant. Temps de $\frac{1}{2}$ réaction. Facteurs de la cinétique : concentration, température, pression, catalyse.	Etablir un tableau d'avancement adossé à une équation de réaction. Exprimer la vitesse à partir des coefficients stœchiométriques algébriques et des concentrations. Discuter sur les facteurs influençant la vitesse. Mettre en évidence expérimentalement l'influence de la température et d'un catalyseur sur la vitesse d'une réaction.
Ordre : exemples de réaction avec ordre et de réaction sans ordre. Constante de vitesse. Dégénérescence de l'ordre. Cas de la décroissance radioactive, période radioactive.	Appliquer les méthodes de simplification pour déterminer une loi de vitesse (mélange stœchiométrique, dégénérescence de l'ordre). Pratiquer une démarche expérimentale ou exploiter des données pour vérifier une hypothèse d'ordre, déterminer une constante de vitesse.
Loi d'Arrhénius et énergie d'activation.	Utiliser la loi d'Arrhénius et discuter sur l'énergie d'activation et savoir les utiliser dans des exemples pris dans la chimie

	organique ou environnementale.
2. Mécanisme de réaction	
Décomposition d'une réaction globale en actes élémentaires et molécularité. Loi de Van't Hoff.	Différencier le bilan macroscopique et l'acte élémentaire à partir d'exemples. Exploiter des informations pour établir la loi de vitesse.
Intermédiaires réactionnels.	Utiliser l'effet inductif pour discuter de la stabilité d'un intermédiaire réactionnel.
Approximation de l'état quasi stationnaire. Etape cinétiquement déterminante. Cas d'un pré-équilibre rapide.	Utiliser les approximations dans quelques cas simples.
Notion de chemin réactionnel, postulat de Hammond.	Commenter l'allure d'un diagramme « énergie-coordonnée de réaction » dans quelques cas simples.
3. Catalyse	
Action catalytique Catalyse homogène et catalyse hétérogène. Auto-catalyse.	Préciser les caractéristiques de l'action catalytique à partir quelques exemples pris dans les domaines de l'oxydoréduction, l'acido-basicité et la chimie organique.
Choix d'un catalyseur, sélectivité	Approche documentaire : ustifier le choix d'un catalyseur pour une réaction au regard du contexte réactionnel et des objectifs.
4. Cinématique du point matériel	
Définition de la cinématique. Point matériel. Référentiel : définition, référentiel terrestre. Repère d'espace, base de projection. Description du mouvement : Vecteur position. Vecteur vitesse et vecteur déplacement élémentaire. Vecteur accélération. Etudes de cas simples.	Commenter la relativité du mouvement fonction du point de vue de l'observateur. Distinguer référentiel et repère. Utiliser les coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques. Expliciter les expressions de la vitesse et de l'accélération en coordonnées polaires et cylindriques. Choisir le repérage le mieux adapté à la situation d'étude. Etudier des mouvements simples sans recourir aux coordonnées sphériques ni à la base de Frénet : rectiligne (uniforme ou non), circulaire (uniforme ou non), parabolique, hélicoïdal, elliptique etc.....
5. Dynamique du point matériel en référentiel galiléen	
Première loi de Newton ou principe d'inertie. Référentiel galiléen : définition, référentiel terrestre.	Utiliser le référentiel terrestre en considérant qu'il est galiléen. Analyser des applications simples.
Deuxième loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique pour un point matériel de masse invariable dans le temps.	Définir le système étudié et le référentiel d'étude. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au système. Faire un schéma décrivant la situation étudiée. Dédire la trajectoire à partir des forces appliquées au point matériel, en se limitant exclusivement aux études de cas en référentiel galiléen, et maîtriser également la

	démarche inverse.
Troisième loi de Newton ou principe des interactions réciproques.	Utiliser la troisième loi de Newton pour expliquer la propulsion.
6. Energie d'un point matériel en référentiel galiléen	
Travail élémentaire et travail fini d'une force appliquée à un point matériel.	Effectuer des calculs dans des cas simples. Traiter le cas du travail d'une force constante et l'exemple du travail du poids.
Energie cinétique : définition Théorème de l'énergie cinétique en référentiel galiléen : démonstration et applications.	Retrouver par le théorème de l'énergie cinétique des résultats déjà obtenus par la deuxième loi de Newton.
Force dite conservative : définition, exemples. Energie potentielle associée. Energie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique en référentiel galiléen : démonstration et applications.	Utiliser la relation $\vec{F} \cdot d\vec{l} = -dE_p$, sans recourir au gradient. Mettre en évidence le fait que l'énergie potentielle associée à une force conservative n'est fonction que de la position. Traiter les exemples de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie potentielle élastique. Retrouver par le théorème de l'énergie mécanique des résultats déjà obtenus par le théorème de l'énergie cinétique ou la deuxième loi de Newton. Illustrer les cas de conservation ou de non conservation de l'énergie mécanique. Mettre en oeuvre une expérience illustrant la conservation de l'énergie mécanique (approchée) et la non conservation de l'énergie mécanique, selon la prise en compte des frottements (dans l'air et dans un liquide visqueux) ; utiliser un logiciel d'acquisition de données.

IV. Analyse et synthèse

On a recours à des techniques d'analyse afin d'identifier et de quantifier une espèce chimique. La synthèse organique vise à reproduire des molécules présentes dans des substances naturelles ou à en élaborer de nouvelles.

L'approche de l'enseignement d'analyse est résolument expérimentale, les techniques d'analyse visant à identifier et à quantifier une espèce chimique. La synthèse organique tend à reproduire des molécules présentes dans des substances naturelles ou à en élaborer de nouvelles. On se limite aux titrages acido-basiques et à l'exploitation de données d'analyse spectroscopique. L'entrée dans la chimie organique de synthèse se fait en douceur par l'explicitation de la réactivité de quelques fonctions essentielles. Le but est de donner quelques outils permettant de comprendre que des réactions interviennent dans des grands cycles métaboliques et dans les synthèses industrielles. Les éléments d'interprétation d'une stratégie de synthèse sont renforcés par l'utilisation de données spectroscopiques (UV visible, infra-rouge et résonance magnétique nucléaire du proton).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Mesures et contrôles	
Titration acido-basique.	Ecrire et exploiter l'équation de la réaction

	<p>de titrage. Déterminer graphiquement et par calcul le pH en un point remarquable du titrage. Repérer le point équivalent lors d'un titrage suivi par pH-métrie, conductimétrie ou à l'aide d'indicateurs colorés. Tracer et exploiter une courbe de titrage (sur papier et logiciel tableur).</p>
Electrodes.	<p>Décrire les électrodes utilisées usuellement : 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} espèces, électrode spécifique de verre. Activité : choisir les électrodes en fonction des mesures à réaliser et réaliser le montage d'une mesure de pH, ou d'une mesure de ddp.</p>
2. Spectroscopie	
<p>Spectroscopie UV –Visible Principe de l'interaction rayonnement matière appliqué à l'absorption dans le domaine de l'UV-visible. Lien entre la couleur perçue et la longueur d'onde au maximum d'absorption pour des substances organiques ou inorganiques. Loi de Beer-Lambert.</p>	<p>Commenter les ordres de grandeurs des énergies et des longueurs d'onde du domaine de l'UV-visible. Réaliser et exploiter des spectres UV-Visible. Rhoisir une longueur d'onde d'étude et réaliser un titrage par spectrophotométrie.</p> <p>Appliquer la loi de Beer Lambert.</p>
<p>Spectroscopie IR Utilisation des spectres IR pour contrôler une formule : identification de groupes caractéristiques.</p>	<p>Exploiter un spectre IR pour identifier des groupes caractéristiques à l'aide de tables de données.</p>
<p>Spectroscopie RMN du proton Identification de molécules organiques à l'aide du déplacement chimique, de l'intégration et de la multiplicité du signal (règle des (n+1) uplets) en se limitant au couplage du 1^{er} ordre.</p>	<p>Identifier les protons équivalents. Relier la multiplicité du signal au nombre de voisins. Associer le spectre RMN à la structure d'une molécule, dans des cas simples, à l'aide de tables de données.</p>
	<p>Déterminer la structure d'une molécule par analyse de données spectroscopiques UV-visible, IR et/ou RMN.</p>
3. Réactivité en chimie organique	
3.1. Les alcènes	
<p>Addition électrophiles de HX, H₂O et Br₂ : mécanismes. Addition radicalaire de HBr : mécanisme, effet Kharasch. Hydrogénation catalytique. Coupure oxydante : ozonolyse et action du permanganate de potassium concentré.</p>	<p>Ecrire les mécanismes d'additions de HX, H₂O et Br₂. Relier les effets électroniques d'un substituant à la régiosélectivité ou à la stéréosélectivité d'une réaction. Ecrire les équations des réactions d'hydrogénation et de coupure oxydante sans préciser les mécanismes.</p>
3.2. Les organomagnésiens	
<p>Préparation des organomagnésiens mixtes : conditions expérimentales, réactions de</p>	<p>Décrire la préparation d'un organomagnésien sans expliciter les</p>

<p>synthèse et annexes. Nucléophilie et basicité des organomagnésiens :</p> <ul style="list-style-type: none"> - substitution sur les dérivés à hydrogène mobile (eau, acides), - substitutions sur les dérivés halogénés (RX, CuCl₂, I₂), - additions sur les époxydes, les dérivés carbonyles et sur le dioxyde de carbone (en excès), - addition-élimination sur les dérivés d'acide carboxylique. 	<p>mécanismes de la synthèse et des réactions annexes.</p> <p>Ecrire les équations des réactions. Expliciter les mécanismes dans le seul cas de l'action sur un dérivé carbonyle. Commenter le rôle d'intermédiaire de synthèse des organomagnésiens pour transformer les chaînes et les fonctions en synthèse.</p> <p>Réaliser la synthèse d'un organomagnésien et l'utiliser pour un dosage ou une synthèse.</p>
3.3. Les alcools	
<p>Acido-basicité des alcools. Influence du noyau benzénique sur l'acido-basicité, dans le cas des phénols. Nucléophilie des alcools :</p> <ul style="list-style-type: none"> - protection de la fonction alcool par la synthèse de Williamson et déprotection, - estérification sur un acide carboxylique et sur un chlorure d'acide. <p>Electrophilie des alcools :</p> <ul style="list-style-type: none"> - préparation d'un dérivé halogéné à partir d'un alcool par action de HX, PCl₃, PBr₃ et SOCl₂, - déshydratation intramoléculaire d'un alcool en milieu acide : formation d'un alcène. <p>Oxydation des alcools, à l'air, par des oxydants minéraux.</p>	<p>Ecrire les formes acide et basique d'un couple alcool/ alcoolate et du couple phénol/phénolate. Comparer l'acidité d'un alcool et d'un phénol.</p> <p>Discuter de la pertinence à protéger la fonction alcool. Ecrire les équations des réactions. Comparer l'estérification sur un acide carboxylique et sur un chlorure d'acide en synthèse. Expliciter le mécanisme de l'action de HX et le mécanisme de la déshydratation dans le cas d'un alcool tertiaire. Discuter de la régiosélectivité et du contrôle thermodynamique de la déshydratation des alcools. Reconnaître l'oxydant et le réducteur. Citer des exemples illustrant les rôles de l'oxydant et des conditions opératoires sur la nature du produit d'oxydation.</p> <p>Approche documentaire commenter quelques exemples d'estérification et d'oxydation des fonctions alcool dans le monde du vivant et dans l'industrie (cosmétique, agroalimentaire...).</p> <p>Réaliser une synthèse illustrant la réactivité d'un alcool.</p>

V. Bilans d'énergie en thermodynamique

Le principe de la conservation de l'énergie permet d'établir des bilans énergétiques en vue de comprendre les transformations des systèmes macroscopiques.

L'analyse de bilans énergétiques simples sur des transformations clairement identifiées constitue l'une des bases de la formation. L'enseignement du premier principe permet de conjuguer la mise en place de l'outil des fonctions d'état et l'analyse de quelques expériences (détentes du GP, changement d'état du corps pur, réaction chimique, calorimétrie). Un aspect important de l'enseignement vise à préciser que le premier principe ne se démontre pas, et que la conservation de l'énergie repose sur la notion de transferts.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Evolution d'un système fermé	
<p>Système thermodynamique et milieu extérieur : définitions.</p> <p>Transformations thermodynamiques élémentaires et finies : définitions.</p> <p>Réversibilité : définition, causes d'irréversibilité d'une transformation.</p>	<p>Choisir et délimiter un système, définir son milieu extérieur.</p> <p>Distinguer une transformation élémentaire et une transformation finie.</p> <p>Définir une transformation réversible.</p> <p>Identifier les causes d'irréversibilité d'une transformation.</p>
<p>Transformations usuelles en thermodynamique.</p>	<p>Caractériser une évolution : isotherme, isobare, isochore, monobare, monotherme, adiabatique réversible, pour un gaz parfait.</p> <p>Reconnaître une transformation cyclique et en donner une illustration.</p> <p>Exploiter le diagramme de Watt : $P = f(V)$.</p>
2. Bilan d'énergie en thermodynamique	
2.1. Premier principe	
<p>Energie totale d'un système.</p> <p>Premier principe de la thermodynamique : conservation de l'énergie pour une transformation élémentaire et pour une transformation finie.</p> <p>Convention algébrique utilisée pour les transferts d'énergie : énergie algébriquement reçue par le système.</p> <p>Travail des forces extérieures de pression W : définition, explicitation.</p> <p>Transfert thermique Q : définition, interprétation qualitative, transformation adiabatique, source de chaleur.</p>	<p>Énoncer le premier principe de la thermodynamique dans le cas général faisant intervenir l'énergie mécanique macroscopique.</p> <p>Utiliser à bon escient les notations « d » pour désigner des petites variations de fonction d'état et « δ » pour des petites quantités d'énergie échangée.</p> <p>Utiliser à bon escient les notations W et Q en proscrivant les notations ΔW et ΔQ.</p> <p>Etablir et utiliser la relation $W = - \int_{E.I}^{E.F} P_{EXT} \cdot dV$</p> <p>qui devient, dans le cas d'une transformation réversible, $W = - \int_{E.I}^{E.F} P \cdot dV$.</p> <p>Distinguer les qualificatifs « calorifugé » (qui caractérise une enceinte) et « adiabatique » (qui caractérise la transformation qui s'y déroule).</p> <p>Commenter le sens des transferts et relier aux signes de W et Q.</p>
2.2. Fonction d'état énergie interne U	
<p>Energie interne U : définition, caractère extensif admis.</p>	<p>Illustrer et utiliser l'extensivité de l'énergie interne.</p> <p>Définir, en lien avec le cours de mécanique,</p>

<p>Cas du gaz parfait :</p> <ul style="list-style-type: none"> - détente de Joule Gay-Lussac, - première loi de Joule, - expressions de U pour un gaz parfait monomoléculaire ou bimoléculaire, sans justification. <p>Capacité thermique à volume constant C_v : définition par la dérivée partielle de l'énergie interne par rapport à la température, cas du gaz parfait, du gaz parfait monoatomique et du gaz parfait diatomique.</p> <p>Cas d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.</p>	<p>l'énergie interne comme étant l'énergie mécanique d'origine microscopique :</p> $U = E_{C_{micro}} + E_{p_{micro}}$ <p>Activité : commenter l'approche expérimentale (détente de Joule Gay Lussac), permettant de déduire qu'un gaz parfait obéit à la première loi de Joule. Expliciter la différentielle de U en variable T et V, et préciser l'expression dans le cas du gaz parfait. Enoncer la première loi de Joule. Illustrer la définition de C_v en évitant tout développement calculatoire excessif. Comparer la propriété de C_v dans le cas général d'un gaz ($C_v = C_v(T)$) au cas des gaz parfaits. Commenter qualitativement la croissance de C_v avec l'atomicité du gaz.</p> <p>Utiliser, dans le cas des études de systèmes usuels en phase condensée, la relation $dU = C_v(T)dT$ et simplifier le modèle dans un domaine de température pas trop étendu, pour lequel C_v est indépendant de T.</p>
--	--

2.3. Fonction d'état enthalpie H

<p>Enthalpie H : définition, caractère extensif admis.</p> <p>Cas du gaz parfait :</p> <ul style="list-style-type: none"> - détente de Joule Thomson, - deuxième loi de Joule, - expressions de H pour un gaz parfait monomoléculaire ou bimoléculaire, sans justification. <p>Capacité thermique à pression constante C_p : définition par la dérivée partielle de l'enthalpie par rapport à la température, cas du gaz parfait, du gaz parfait monoatomique et du gaz parfait diatomique.</p> <p>Coefficient β pour un gaz parfait</p> <p>Cas d'une phase condensée dans le modèle incompressible et indilatable.</p>	<p>Exprimer le transfert thermique lors d'une évolution monobare en utilisant la fonction enthalpie.</p> <p>Approche documentaire commenter l'approche expérimentale (détente de Joule Thomson), permettant de déduire qu'un gaz parfait obéit à la deuxième loi de Joule. Expliciter la différentielle de H en variable T et P, et préciser l'expression dans le cas du gaz parfait. Enoncer la deuxième loi de Joule. Relier la première loi de Joule et la deuxième loi de Joule pour le gaz parfait. Illustrer la définition de C_p en évitant tout développement calculatoire excessif. Comparer la propriété de C_p dans le cas général d'un gaz ($C_p = C_p(T)$) au cas des gaz parfaits. Déduire la relation de Mayer pour un gaz parfait à partir des deux lois de Joule. Définir et préciser les valeurs de β pour les cas usuels de gaz parfaits monoatomiques, diatomiques et leurs mélanges respectifs. Utiliser à bon escient la relation approchée $dU \approx dH = C dT$, en confondant alors C_p et C_v.</p>
--	--

2.4. Changement d'état d'un corps pur

<p>Nature des changements d'état. Diagramme d'état en coordonnées (P,T). Point critique, point triple. Enthalpie de changement d'état d'un corps pur à pression et température fixées.</p> <p>Diagramme d'état de Clapeyron (P,V) pour le changement d'état liquide-gaz. Composition d'un mélange liquide-vapeur. Théorème des moments chimiques.</p>	<p>Nommer les changements d'état réversibles et citer des changements d'état irréversibles. Lire le diagramme (P,T) : domaines, transformations isobares, transformations isothermes. Définir l'enthalpie de changement d'état d'un corps pur et commenter qualitativement son signe. Lire le diagramme (P,V) pour le changement d'état liquide-gaz. Utiliser les fractions massiques et le théorème des moments chimiques. Lire et exploiter le diagramme d'état en coordonnées de Clapeyron (P,v) , en excluant toute étude au voisinage du point critique, et toute étude sur les propriétés du fluide supercritique. Activité : exposer le principe de fonctionnement de la machine de Cailletet.</p>
<p>3. Applications du premier principe à la chimie</p>	
<p>3.1. Description d'un système fermé en réaction chimique</p>	
<p>Etat standard d'un constituant pour un gaz, ou un état condensé : définition, exemples. Grandeur molaire et grandeur molaire standard appliquée à une fonction d'état d'un corps pur : définition, exemples.</p> <p>Grandeur de réaction et grandeur standard de réaction : définitions, exemples.</p>	<p>Décrire l'état standard d'un constituant. Définir le volume molaire et l'enthalpie molaire d'un constituant pur dans un état quelconque puis dans un état standard ; traiter le cas du gaz parfait. Apprécier qualitativement la distinction entre grandeur molaire d'un constituant pur et grandeur molaire partielle d'un constituant d'un mélange, sur l'exemple du volume des mélanges de liquides. Définir l'enthalpie de réaction $\Delta_r H$ et l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$. Justifier qualitativement et utiliser l'approximation de l'équivalence des deux grandeurs.</p>
<p>3.2. Application du premier principe</p>	
<p>Variation de l'énergie interne ΔU et de l'enthalpie ΔH du système des réactants pendant la transformation « réaction chimique » à volume constant, à pression constante. Réaction endothermique et exothermique.</p>	<p>Relier les variations des fonctions d'état ΔU et ΔH aux transferts thermiques. Expliciter la variation ΔH pendant la réaction en fonction de l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$. Analyser les unités de ces deux grandeurs. Analyser le signe du transfert thermique. Donner la définition d'une réaction endothermique / exothermique. Citer la variation de $\Delta_r H^\circ$ avec la température sans développement calculatoire, et utiliser l'approximation d'Ellingham sur un intervalle de température réduit.</p>
<p>Enthalpie molaire standard de formation $\Delta_f H^\circ$ d'un corps pur : définition, loi de Hess. Energie de liaison : définition</p>	<p>Expliciter la réaction de formation d'un corps pur. Appliquer la loi de Hess dans quelques cas</p>

	<p>simples. Utiliser des données tabulées pour calculer un transfert thermique, une enthalpie de réaction, une énergie de liaison.</p>
<p>Calorimétrie. Etude de cas simples se limitant à un système fermé, en excluant la méthode des régimes permanents et la microcalorimétrie.</p>	<p>Choisir un système d'étude en calorimétrie et appliquer le premier principe de la thermodynamique. Déterminer la valeur en eau d'un calorimètre. Déterminer une grandeur thermodynamique (capacité thermique, enthalpie de changement d'état, enthalpie de réaction ou enthalpie de mise en solution) par calorimétrie.</p>

Programme de physique-chimie de TB 2^{ème} année

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB s'inscrit dans la continuité du programme de première année. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, ce programme identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de TB2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de TB2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la

suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB inclut celui de première année, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de TB1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de TB2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».

- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de TB2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

D'autres items se prêtent à une **approche documentaire**. Les activités peuvent être abordées de manière collective ou nourrir un travail de préparation en autonomie.

- Un appendice liste le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de deuxième année de TB. Il complète le matériel rencontré en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée par semestre. Le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en

respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, sciences de la vie et de la terre, biotechnologies, mathématique et informatique.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux parties de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de notre enseignement. C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en appendice de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en appendice du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE) mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres parties du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale. - Enoncer une problématique d'approche expérimentale. - Définir les objectifs correspondants.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler et échanger des hypothèses. - Proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - Proposer un modèle. - Choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - Evaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole. - Utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel. - Mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - A l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ; o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; o s'appuyer sur des schémas, des graphes. - Faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Etre autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - Travailler seul ou en équipe. - Solliciter une aide de manière pertinente. - S'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, on doit développer les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les

activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les élèves de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur. L'utilisation d'un cahier de laboratoire, au sens large du terme en incluant par exemple le numérique, peut constituer un outil efficace d'apprentissage.

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problèmes » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problèmes permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problèmes. La résolution de problèmes mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.
Etablir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle.
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche

	(mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique...) Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats.

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires, identifiées en gras**, dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ». L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^eme et XXI^eme siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau...).
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents. - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence. - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau. - Trier et organiser des données, des informations. - Tracer un graphe à partir de données. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle. - Utiliser un modèle décrit.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique. - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude...). - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance.

Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique). - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale. - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques.
---	--

Dix activités documentaires sont listées dans la formation disciplinaire de seconde année, en TB2. Ces activités nourrissent la réflexion thématique élargie. Néanmoins il ne saurait être question de limiter le champ des activités possibles, ni de restreindre les choix pédagogiques du professeur. Toute autre activité documentaire en liaison avec les thèmes du programme peut être étudiée et évaluée, dès lors que les activités citées dans le programme ont déjà été réalisées dans le cadre de la formation.

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours des deux années de formation durant les séances de travaux pratiques.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

Le choix des activités peut être réalisé en fonction de la progression de l'enseignement des concepts tout en maintenant un équilibre entre les deux années de préparation. Ces activités sont l'occasion pour l'étudiant de développer le sens de l'initiative, le **respect des règles de sécurité pour l'homme et pour l'environnement**.

Les étudiants doivent connaître le principe des techniques indiquées et en réaliser la mise en œuvre expérimentale. Des notices simplifiées de fonctionnement et de réglage des appareils utilisés doivent être fournies.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>Règles de sécurité</p> <p>Techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chauffage à reflux, - addition d'un réactif au cours d'une réaction, - réaction en conditions anhydres, - traitement d'un brut réactionnel, - séparation et purification, 	<p>Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit.</p> <p>Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire.</p> <p>Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux.</p> <p>Utiliser une ampoule de coulée.</p> <p>Conduire une réaction en milieu anhydre.</p> <p>Réaliser les opérations suivantes : filtration sous vide, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide.</p>

<p>Analyse et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chromatographie sur couche mince, - dosage de prélèvements, - température de fusion, - indice de réfraction, - pouvoir rotatoire, - rendement. 	<p>Mettre en œuvre les techniques suivantes : relargage, distillation fractionnée sous pression atmosphérique, hydrodistillation, recristallisation.</p> <p>Réaliser une chromatographie sur couche mince.</p> <p>Réaliser un prélèvement et effectuer un dosage</p> <p>Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.</p> <p>Utiliser un pH-mètre, un spectrophotomètre, un calorimètre.</p> <p>Définir et calculer le rendement d'une réaction.</p> <p>Mesurer une masse, un volume.</p> <p>Rechercher et interpréter des informations tabulées.</p>
--	--

Partie 3 - Contenus disciplinaires

Les thèmes traités en seconde année

Les objectifs de formation en seconde année sont identiques de ceux exposés dans le programme de première année. La seconde année est rythmée par quatre thèmes :

- I. Evolution des systèmes physiques en thermodynamique
- II. Stratégie de synthèse organique
- III. Evolution et équilibre des systèmes chimiques
- IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

Le contenu et le volume des séances de travaux dirigés spécifiques à chaque thème sont à l'initiative de l'enseignant en fonction de sa progression.

I – Evolution des systèmes physiques en thermodynamique

Cette partie prolonge l'étude du premier principe de la thermodynamique, vue en première année. Le second principe de la thermodynamique permet de sensibiliser les futurs scientifiques à la question de l'irréversibilité des transformations. L'étude des systèmes physiques en évolution débouche sur des applications pratiques dans la vie quotidienne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Second principe de la thermodynamique : principe d'évolution	
Nécessité du second principe, irréversibilité d'une transformation.	Discuter de l'insuffisance du premier principe, d'après un exemple et citer les causes d'irréversibilité d'une transformation.
Entropie S : fonction d'état extensive et non conservative.	Ecrire la variation élémentaire d'entropie dS comme la somme d'un terme d'échange et d'un terme de création, ce dernier rendant compte de l'évolution interne du système :
Entropie créée, entropie échangée.	$dS = \delta S_c + \delta S_e$.

	<p>Utiliser la nullité de l'entropie créée comme critère de la réversibilité.</p> <p>Exprimer l'entropie échangée entre le système et le milieu extérieur.</p> <p>Comparer les évolutions adiabatique réversible et adiabatique irréversible.</p>
2. Identité thermodynamique	
<p>Température thermodynamique et pression thermodynamique. Concordance (admise) entre ces grandeurs et les grandeurs expérimentales.</p> <p>Première identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dU=TdS-PdV$.</p> <p>Seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dH=TdS+VdP$.</p>	<p>Utiliser à bon escient les notations désignant une dérivée, une dérivée partielle et une différentielle.</p> <p>Définir la température thermodynamique et la pression thermodynamique à partir des dérivées partielles de la fonction $U(S,V)$.</p> <p>Expliciter la différentielle de U en variable S et V, pour établir la première identité thermodynamique.</p> <p>Démontrer la seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant en partant de la définition de l'enthalpie et en utilisant la première identité.</p>
3. Applications du second principe	
<p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création pour une transformation du gaz parfait.</p> <p>Loi de Laplace pour le gaz parfait.</p> <p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création d'une phase condensée (modèle incompressible et indilatable).</p> <p>Bilan entropique d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare.</p> <p>Diagrammes entropiques</p>	<p>Etablir l'expression de la variation d'entropie d'un gaz parfait en variables (T,V) ou (T,P)</p> <p>Choisir de manière pertinente les variables de travail.</p> <p>Démontrer le caractère irréversible de quelques transformations : détente de Joule Gay Lussac, mixage de deux gaz.</p> <p>Etablir, à partir du second principe de la thermodynamique, les trois expressions de la loi de Laplace pour le gaz parfait en évolution adiabatique réversible.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie pour une phase condensée.</p> <p>Montrer l'irréversibilité lors du transfert thermique entre deux solides en contact contenus dans une enceinte calorifugée.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie lors d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare. Commenter le signe de cette variation d'entropie.</p> <p>Approche documentaire : lire et exploiter un diagramme entropique en coordonnées (T,S) ou (H,S).</p>
4. Machines thermiques	
<p>Machines thermiques monothermes et dithermes dans le cas de sources idéales : définitions, bilans énergétique et entropique, inégalité de Clausius.</p>	<p>Définir un moteur et un récepteur thermique. Démontrer qu'un moteur monotherme ne peut pas exister.</p> <p>Distinguer une machine frigorifique d'une pompe à chaleur.</p> <p>Connaître le sens réel des échanges d'énergie entre le fluide et l'extérieur pour chaque cas.</p>

Rendement ou efficacité d'une machine thermique.	Définir le rendement d'un moteur thermique et l'efficacité d'un récepteur. Etablir le théorème de Carnot.
Cycles thermodynamiques de fluides.	Etudier le cycle de Carnot et comprendre son caractère réversible. Décrire un cycle irréversible (avec ou sans changement d'état) : Beau de Rochas, Rankine ... Approche documentaire : comprendre le fonctionnement et l'intérêt d'un dispositif de chauffage ou de réfrigération.

II- Stratégie de synthèse organique

Cette partie s'appuie sur les notions abordées en première année. L'approche par les familles, destinée à stabiliser les connaissances des élèves de première année, fait place en deuxième année à une présentation par types de réactions, plus réflexive et moins cognitive. A cette occasion, les études de cas proposées peuvent être assorties de révisions de première année. Le programme comprend également une initiation à la stratégie de synthèse organique, qui peut être étayée par des exemples pris dans le domaine de la biochimie ou de la pharmaceutique. A cet effet, une mobilisation de l'ensemble des connaissances acquises en chimie organique est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Principaux types de réactions	
Substitution nucléophile et mécanismes limites S_N1 et S_N2 . Etude de cas : obtention des amines et des ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes d'obtention des amines de différentes classes. Connaître les conditions opératoires favorisant l'obtention d'un ion ammonium quaternaire.
β -élimination et mécanismes limites E1 et E2. Etudes de cas : obtention des alcènes à partir des halogénoalcanes et des alcools ; élimination d'Hofmann sur les ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions d'obtention des alcènes et les mécanismes E1 et E2. Discuter de la compétition des mécanismes E1 et E2 à partir d'exemples et des conséquences stéréochimiques. Comparer la régiosélectivité des réactions d'obtention des alcènes, selon la voie de synthèse choisie.
Addition nucléophile. Etudes de cas : hémiacétalisation et acétalisation des dérivés carbonyles.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Utiliser les réactions en vue de protéger une fonction carbonyle. Commenter l'obtention des α et β Dglucopyranose.
Addition-élimination. Etudes de cas : obtention des esters et des amides. Hydrolyse des dérivés d'acides carboxyliques.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Etudier la synthèse d'un dipeptide. Réaliser la synthèse d'un dérivé d'acide carboxylique ou l'hydrolyse d'un dérivé d'acide carboxylique. Comparer la réactivité des dérivés d'acides carboxyliques vis-à-vis de l'hydrolyse.

<p>Réactions d'oxydoréduction en chimie organique. Etudes de cas : réduction des carbonyles, des acides carboxyliques et dérivés ; oxydation des aldéhydes.</p>	<p>Identifier et choisir les espèces réductrices ou oxydantes usuelles en fonction des objectifs de synthèse.</p> <p>Ecrire et équilibrer les équations des réactions. Connaître et décrire les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</p> <p>Réaliser et interpréter les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</p>
<p>Réactions acido-basiques en chimie organique : définition du pK_A généralisé. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique.</p> <p>Basicité des amines.</p> <p>Mobilité de l'hydrogène en α du groupe carbonyle : tautomérie céto-énolique, énol et ion énolate ; aldolisation, cétolisation, crotonisation.</p>	<p>Connaître et classer les acides et les bases usuelles utilisées en chimie organique.</p> <p>Discuter de l'influence du pH sur la nucléophilie des amines.</p> <p>Ecrire les mécanismes d'obtention de l'énol et de l'énolate. Commenter la position de l'équilibre céto-énolique. Commenter l'équilibre d'isomérisation entre le glucose et le fructose.</p> <p>Ecrire les équations des réactions d'aldolisation, de cétolisation et de crotonisation. Ecrire les mécanismes d'aldolisation et de crotonisation en milieu basique.</p> <p>Réaliser une condensation aldolique ou céto-énolique.</p>
<p>2. Stratégie de synthèse</p>	
<p>Activation des fonctions alcool et acide carboxylique : obtention du chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle sur l'acide correspondant et de l'anhydride par action du carboxylate sur le chlorure d'acyle.</p> <p>Protection, déprotection des fonctions carbonyle, acide carboxylique, amine.</p> <p>Allongement de chaîne, création de liaison C-C, initiation à la rétrosynthèse. Etude de cas : C-alkylation, synthèse malonique.</p> <p>Régiosélectivité en synthèse : contrôle cinétique et contrôle thermodynamique, choix des conditions opératoires.</p>	<p>Ecrire les équations des réactions d'activation, de protection, de déprotection.</p> <p>Discuter de la nécessité d'activer ou de protéger une fonction.</p> <p>Identifier les étapes de la synthèse d'un peptide.</p> <p>Approche documentaire : étudier une approche historique de la synthèse peptidique. Analyser le squelette carboné d'une molécule et prévoir sa synthèse par union de deux chaînes plus courtes.</p> <p>Ecrire les équations des réactions de C-alkylation et des étapes de la synthèse malonique.</p> <p>Approche documentaire : étudier les étapes de la synthèse d'un composé multifonctionnel et l'évolution du squelette carboné lors de la synthèse.</p> <p>Prévoir les réactions possibles et favoriser un produit de synthèse particulier, à l'appui d'études de cas.</p> <p>Approche documentaire : commenter la régiosélectivité de synthèse sur des exemples simples.</p> <p>Comparer deux synthèses concurrentes en discutant des aspects économiques et</p>

Enjeux de la chimie verte : considérations économiques et écologiques. Synthèse au laboratoire et synthèse industrielle. Etude de cas : synthèse de l'aspirine.	écologiques. Expliciter les termes : synthèse propre, synthèse économe en matière et en énergie. Analyser les étapes d'une synthèse multi-étapes. Réaliser une synthèse multi-étapes.
---	--

III- Evolution et équilibre des systèmes chimiques

Cette partie s'inscrit dans le prolongement de la formation proposée en première année. L'évolution et l'équilibre des systèmes sièges d'une réaction chimique sont étudiés grâce aux concepts thermodynamiques déjà rencontrés et adaptés au contexte particulier de la réaction chimique. Les exemples sont pris dans les domaines de la synthèse au laboratoire ou dans l'industrie, en phase sèche ou en phase aqueuse. Les équilibres en phase aqueuse font l'objet d'une étude poussée, au regard de leur intérêt dans le domaine biologique et dans le domaine analytique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Fonction enthalpie libre	
Enthalpie libre G : définition à partir de $G = H - TS$, fonction d'état extensive.	Connaître l'expression générale de l'enthalpie libre
Systèmes fermés divariants. Identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dG = -SdT + VdP$ Variation d'enthalpie libre d'un gaz parfait. Relation de Gibbs-Helmholtz.	Dans le cas où T et P sont constants, démontrer que $dG \leq 0$. Etablir l'expression de dG à partir de celle de dH , expliciter la différentielle de la fonction $G(T,P)$ et déduire les expressions de S et de V . Distinguer les écritures de la différentielle et de la dérivée partielle. Etablir la relation de Gibbs-Helmholtz.
2. Potentiel chimique	
Potentiel chimique pour un constituant d'un système homogène fermé, de composition variable. Potentiel chimique du gaz parfait, seul ou dans un mélange idéal de gaz parfaits. Activité d'un constituant. Potentiel chimique d'un constituant pur ou dans un mélange idéal en phase condensée (modèle incompressible et indilatable). Potentiel chimique d'un soluté et d'un solvant dans une solution idéale.	Exprimer l'identité thermodynamique avec les variables T , P et les quantités de matière des constituants du système. Déduire le potentiel chimique du constituant i , comme la dérivée partielle de l'enthalpie libre à T , P et n_j ($j \neq i$) fixés. Etablir l'expression du potentiel chimique dans les deux cas. Connaître et utiliser les expressions du potentiel chimique et de l'activité d'un constituant dans les cas cités. Utiliser le formalisme $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$.
3. Grandeurs thermodynamiques caractérisant une réaction	
Variation de l'enthalpie libre d'un système fermé, siège d'une réaction chimique à pression et à température constantes.	Connaître et utiliser la relation d'Euler (admise) appliquée à la fonction enthalpie libre. Utiliser les variations élémentaires des différentes quantités de matière exprimées en fonction de la variation élémentaire de l'avancement, $d\xi$. Expliciter à T et P fixés $dG = \sum \mu_i dn_i$.

<p>Enthalpie libre de réaction, entropie de réaction et enthalpie de réaction : définitions, relations $dG = \Delta_r G d\xi$ et $\Delta_r G = \sum \mu_i \nu_i$.</p> <p>Grandeurs standard de réaction : définitions.</p> <p>Relations entre grandeurs standard :</p> <ul style="list-style-type: none"> - enthalpie libre standard de réaction - enthalpie standard de réaction - entropie standard de réaction - enthalpie libre standard de formation - enthalpie standard de formation - entropie molaire standard S°_m <p>Variation de $\Delta_r G^\circ$ avec la température. Relation de Gibbs-Helmholtz. Approximation d'Ellingham.</p>	<p>Définir une grandeur thermodynamique de réaction comme la dérivée partielle de la fonction d'état par rapport à l'avancement, à T et P fixés ; appliquer cette définition à G, S et H. Dédire pour la réaction chimique à T et P fixés : $dG = \Delta_r G d\xi$.</p> <p>Justifier l'approximation faite en première année, identifiant l'enthalpie de réaction à l'enthalpie standard de réaction.</p> <p>Distinguer et relier l'enthalpie libre de réaction et l'enthalpie libre standard de réaction.</p> <p>Relier les grandeurs standard entre elles.</p> <p>Connaître la propriété d'une grandeur standard de dépendre de la température.</p> <p>Appliquer la relation de Gibbs-Helmholtz. Appliquer l'approximation d'Ellingham.</p>
4. Evolution d'un système chimique et équilibre	
<p>Affinité chimique d'un système : définition à partir de l'enthalpie libre de réaction, sens d'évolution d'un système et condition d'équilibre.</p> <p>Quotient de réaction Q_R : définition et expression en fonction des activités des constituants. Expression de l'affinité chimique en fonction de Q_R et de la constante d'équilibre K°.</p>	<p>Définir l'affinité chimique. Appliquer le second principe de la thermodynamique pour prévoir $dG < 0$ et $A > 0$ pendant une évolution selon une réaction chimique à T et P fixés. Discuter du signe de $\Delta_r G$ selon l'évolution.</p> <p>Démontrer $dG = 0$ et $A = 0$ pour l'équilibre chimique.</p> <p>Démontrer la relation $A = A^\circ - RT \ln Q_R$ avec $A^\circ = RT \ln K^\circ$. Justifier le résultat de la première année sur le critère d'évolution d'un système chimique en réaction.</p>
<p>Variance, facteurs d'équilibre (P, T, x_i).</p> <p>Variation de la constante d'équilibre avec la température.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques : influence de la température (loi de modération de Van't Hoff), de la pression (loi de modération de Le Chatelier), de l'introduction ou du retrait d'un constituant actif ou inactif dans les conditions isotherme-isochore ou isotherme-isobare.</p>	<p>Identifier les paramètres intensifs influant sur l'équilibre d'un système chimique et les relations entre ces paramètres. Calculer la variance dans des cas variés, en utilisant la règle de Gibbs sans la démontrer.</p> <p>Dédire la relation de Van't Hoff à partir de la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Etablir les lois de déplacement d'équilibre en se limitant au cas de l'influence de T et P pour un système fermé.</p> <p>Etudier qualitativement le cas de l'introduction d'un constituant inactif sans utiliser l'expression de l'affinité chimique hors équilibre.</p> <p>Prévoir l'ajout d'un réactif en excès ou le retrait d'un produit au fur et à mesure d'une synthèse pour en améliorer le rendement.</p> <p>Appliquer les lois de déplacement des équilibres chimiques et expliciter le terme « modération ».</p>

	Approche documentaire : commenter les choix industriels influant sur le rendement d'une synthèse.
5. Equilibres chimiques en solution aqueuse	
5.1. Complexation	
<p>Couple donneur-accepteur de ligand L. Formation de complexes successifs avec un même ligand. Constante de formation et constante de dissociation d'un complexe.</p> <p>Domaines de prédominance du complexe et de l'ion libre.</p> <p>Complexation compétitive par des ligands de natures différentes.</p> <p>Importance des complexes dans l'eau et dans les milieux biologiques.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique grâce aux propriétés d'un complexe dans un titrage.</p>	<p>Reconnaître un ligand et un accepteur de ligand. Définir la constante d'équilibre de formation globale et l'écrire dans quelques exemples variés en appliquant la loi d'action des masses. Relier la constante de formation globale aux constantes de formations successives.</p> <p>Utiliser les constantes de formation et de dissociation. Etablir le diagramme de prédominance dans un cas simple sans intermédiaire instable. Exploiter une courbe de distribution en fonction de pL.</p> <p>Prévoir sans dérive calculatoire un échange de ligands en se limitant au cas de même stœchiométrie.</p> <p>Prévoir l'influence du pH dans quelques exemples sans calcul.</p> <p>Approche documentaire : illustrer l'importance de la complexation en milieu biologique.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage ou un changement de couleur.</p>
5.2. Solubilité et précipitation	
<p>Solubilité d'un gaz dans l'eau.</p> <p>Solution saturée solide : définition, équilibre entre solide et espèces en solution, produit de solubilité K_S.</p> <p>Condition de précipitation par comparaison du quotient réactionnel Q_S et de K_S.</p> <p>Solubilité s d'une espèce moléculaire ou ionique dans l'eau.</p> <p>Déplacement de l'équilibre de solubilité.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage par précipitation.</p>	<p>Utiliser la constante d'équilibre de Henry.</p> <p>Ecrire l'équilibre entre forme solide et forme dissoute pour la solution saturée, expliciter K_S.</p> <p>Déterminer si une solution est saturée ou non.</p> <p>Exprimer K_S en fonction de s.</p> <p>Déterminer s ou K_S.</p> <p>Expliquer le déplacement d'équilibre dans quelques cas simples et sans dérive calculatoire : effet d'ion commun, influence du pH, complexation.</p> <p>Interpréter l'influence de la température sur la solubilité et expliquer le principe de la recristallisation.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage, une apparition ou une disparition d'un précipité.</p>

5.3. Oxydo-réduction	
<p>Relation entre affinité chimique d'une réaction chimique et potentiels rédox des couples impliqués dans la réaction. Evolution et équilibre rédox. Constante d'équilibre et quotient de réaction rédox.</p> <p>Potentiel apparent d'oxydoréduction à pH 7. Cas du potentiel à 37°C.</p> <p>Présentation des diagrammes potentiel-pH sans excès calculatoire ; influence de la précipitation et de la complexation.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage rédox.</p> <p>Energie mise en jeu lors de fonctionnement d'une pile.</p> <p>Biocapteur : principe de fonctionnement sur un exemple.</p>	<p>Utiliser la relation $A = nF\Delta E$ et prévoir le sens d'évolution rédox. Retrouver les résultats utilisés en première année sur le fonctionnement d'une pile électrochimique. Analyser l'état final à l'équilibre rédox.</p> <p>Analyser la réactivité chimique rédox dans des exemples de couples présents dans les milieux biologiques (NAD/ NADH) à pH 7.</p> <p>Interpréter les diagrammes potentiels-pH dans quelques cas simples, cas de l'eau.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage.</p> <p>Approche documentaire : interpréter les résultats d'étude de consommation de piles usuelles.</p> <p>Approche documentaire : Expliciter le principe et l'avantage d'un biocapteur.</p>

IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

Cette partie est résolument nouvelle par rapport au programme de première année. Le transport de matière par diffusion et le transfert thermique répondent à des lois simples, utiles dans la vie quotidienne. Ils sont comparés dans des cas simples en régime permanent ; notamment leur étude se limite à des modèles unidimensionnels. Puis l'étude des écoulements de fluides répond à une exigence de formation sur des questions pratiques en liaison avec plusieurs disciplines : fluides dans une canalisation avec ou sans pompage, fluides de ruissellement, fluides biologiques... Les fluides visqueux font enfin l'objet d'une étude sommaire, visant à initier une réflexion sur les conséquences des écoulements ; les exemples peuvent être tirés de plusieurs domaines (biologie, géologie, agroalimentaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Phénomènes de transport	
<p>Diffusion de matière, en régime permanent.</p> <p>Flux et densité de flux de diffusion de matière à travers une surface S. Définition et expression générale $\phi = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$. Cas particulier : $\phi = j \times S$</p> <p>Première loi de Fick : énoncé et applications</p>	<p>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de diffusion de matière.</p> <p>Définir le vecteur densité de flux de matière. Définir le flux de matière à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de flux est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fick et l'explicitier dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique sans faire</p>

<p>simples excluant les phénomènes de couplage, l'autodiffusion, la diffusion mutuelle ainsi que toute interprétation microscopique.</p>	<p>Intervenir le gradient. Effectuer un bilan de masse sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la diffusion a lieu en prenant en compte d'éventuels phénomènes de disparition ou de création (réaction, absorption dans une autre phase). Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fick pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p>
<p>Conduction thermique.</p> <p>Flux et densité de flux thermique à travers une surface S. Définition et expression générale $\phi_{th} = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S}$. Cas particulier : $\phi_{th} = j_{th} \times S$.</p> <p>Première loi de Fourier : énoncé et applications simples.</p> <p>Analogie de la première loi de Fourier avec la première loi de Fick. Résistance thermique et résistance diffusive.</p>	<p>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de conduction thermique.</p> <p>Définir le vecteur densité de flux thermique. Définir le flux thermique à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fourier et l'expliciter dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique, sans faire intervenir le gradient. Effectuer un bilan thermique sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la conduction de la chaleur a lieu en prenant en compte d'éventuelles pertes thermiques ou une production interne de chaleur. Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fourier pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p> <p>Effectuer les analogies entre les grandeurs intervenant dans ces deux phénomènes. Définir la résistance thermique et la résistance diffusive en régime permanent. Connaître et utiliser les lois d'associations de ces résistances.</p>
<p>Conduction électrique.</p> <p>Théorie sommaire de la conduction électrique dans un métal en régime permanent : vitesse limite et mobilité (en se limitant à l'étude du mouvement d'un électron dans un barreau cylindrique « AB » de section constante S, de longueur ℓ et siège d'un champ électrique \vec{E} constant dont on n'explicitera pas l'origine). Définition du potentiel électrique d'après l'énergie potentielle électrostatique $E_p = q.V$</p>	<p>Définir un courant électrique. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un électron plongé dans un champ électrique \vec{E} uniforme et constant au cours du temps et subissant une force de « frottement » visqueux de la part du réseau cristallin. Etablir l'expression vectorielle de la vitesse limite. Définir la mobilité. Déterminer l'expression de l'énergie potentielle électrostatique pour un champ constant. Faire le lien entre les concepts de potentiel et de tension électrique en relation avec le cours</p>

<p>Vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Intensité du courant électrique : Flux de charge à travers une surface S. Définition et expression générale $I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$. Cas particulier : $I = j \times S$</p> <p>Conductivité.</p> <p>Loi d'Ohm : résistance électrique $R = \frac{V_A - V_B}{I}$</p>	<p>d'oxydoréduction (potentiel de Nernst, f.e.m d'une pile).</p> <p>Définir un courant électrique comme un mouvement d'ensemble de particules portant une charge électrique. Utiliser cette définition pour obtenir, par analogie avec le phénomène de diffusion, l'expression du vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Définir la conductivité σ. Justifier la loi d'Ohm locale sous la forme :</p> $j = -\sigma \frac{dV}{dx} \text{ ou } j = -\sigma \frac{dV}{dr}$ <p>selon le paramètre d'étude, pour le cas d'un champ constant.</p> <p>Définir, par analogie avec le phénomène de diffusion, le flux de charge à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de courant est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Définir, par analogie avec les phénomènes de diffusion et de conduction, la résistance électrique d'un barreau cylindrique de section constante S et de longueur ℓ.</p> <p>Mesurer la résistance d'un conducteur ohmique.</p>
<p>2. Cinématique des fluides</p>	
<p>Particule de fluide : définition, variation continue des propriétés locales.</p>	<p>Définir l'état fluide. Identifier les propriétés locales d'un fluide (masse volumique, pression, température et vitesse). Utiliser le coefficient de compressibilité isotherme pour différencier les liquides des gaz.</p>
<p>Fluide en mouvement et champ des vitesses.</p> <p>Ecoulements permanent, transitoire, unidimensionnel.</p>	<p>Définir et représenter une ligne de courant et un tube de courant.</p> <p>Définir et repérer un régime permanent d'écoulement par opposition à un régime transitoire. Définir et repérer un écoulement unidimensionnel.</p>
<p>Débit volumique : $D_v = \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S}$.</p> <p>Débit massique : $D_m = \iint_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{S}$.</p> <p>Bilan de masse sans recourir à l'équation locale de conservation de la masse : flux de masse et de volume.</p>	<p>Définir les débits volumique et massique dans le cas d'un fluide incompressible. Donner leur expression et établir le lien entre les deux expressions. Simplifier ces expressions dans le cas d'un écoulement unidimensionnel perpendiculaire à une section droite S d'un tube d'écoulement. Montrer et utiliser le fait qu'en régime permanent le débit massique est conservatif</p>

	quelque soit le fluide. Montrer et utiliser le fait que pour un fluide incompressible, le débit volumique est conservatif.
3. Dynamique des fluides	
<p>Bilan d'énergie pour un fluide incompressible en régime d'écoulement permanent, sur un système ouvert à frontière fixe ou sur un système fermé à frontière variable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - variation d'énergie mécanique - variation d'énergie interne - travail des forces extérieures de pression. - travail machine (travail indiqué) - travail des forces de frottement. <p>Théorème de Bernoulli.</p> <p>Charge : définition comme la somme des énergies potentielle et cinétique par unité de volume et de la pression (assimilable à une énergie par unité de volume dans le cas d'un écoulement permanent incompressible). Charge hydraulique : définition (en mètre de colonne d'eau).</p>	<p>Maîtriser le choix du système, la nature de la transformation, avant de présenter le bilan d'énergie. Identifier le volume de contrôle. Présenter le bilan d'énergie.</p> <p>Etablir le théorème de Bernoulli par application du premier principe de la thermodynamique au système fermé et préciser les hypothèses de travail.</p> <p>Définir la charge. Définir la charge hydraulique. Utiliser dans l'expression de l'énergie cinétique, la vitesse débitante (même si le profil de vitesse n'est pas uniforme sur une section).</p>
<p>Applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tube de Venturi, mesure des débits - tube de Pitot, mesure des vitesses - circulation d'un liquide dans une canalisation. <p>Les expressions des pertes de charges ne sont pas exigées.</p>	<p>Déterminer un débit grâce au tube de Venturi. Déterminer une vitesse grâce au tube de Pitot. Analyser la circulation d'un liquide dans une canalisation sous l'effet de la gravité et / ou d'une pompe.</p> <p>Mesurer un débit ou une vitesse.</p>
4. Viscosité des fluides newtoniens	
<p>Viscosité : approche expérimentale, exemples, cas de la contrainte visqueuse par cisaillement plan.</p> <p>Viscosité dynamique.</p> <p>Fluides newtoniens.</p>	<p>Présenter une expérience simple mettant en évidence la viscosité des fluides. Définir et reconnaître un fluide newtonien.</p>
<p>Nombre de Reynolds : description qualitative des différents régimes d'écoulement (laminaire, turbulent), nombre sans dimension.</p>	<p>Prédire grâce à la donnée du nombre de Reynolds le régime d'écoulement, notamment dans le cas d'un écoulement en conduite cylindrique de section circulaire.</p>
<p>Loi de Poiseuille : expression sans démonstration, analogie entre écoulements visqueux plan et cylindrique, profil des vitesses, cas de l'écoulement permanent établi dans un tube cylindrique de section circulaire.</p>	<p>Vérifier l'homogénéité dimensionnelle. Commenter le sens de variation de la perte de charge en fonction des différents paramètres. Connaître le profil des vitesses parabolique. Connaître les conditions de validité et commenter le fait que la linéarité entre perte de charge et débit n'est plus vérifiée en écoulement turbulent.</p> <p>Approche documentaire : étudier la perte de charge dans la circulation sanguine artérielle et veineuse.</p>