



Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST)**

Discipline : **Physique-chimie**

Seconde année

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 | - 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. |

| | |
|---|--|
| | <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 titration 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. 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). 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. 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 | |
|---|---|
| <p>Formation de complexes, ligands.</p> | <p>Identifier la formule d'un complexe à partir de son nom systématique, dans le cas de ligands simples.</p> |
| <p>Constante globale de formation β_n. Constantes de formation successives. Domaines de prédominance. Compétition entre ligands.</p> | <p>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.</p> |
| <p>Influence du pH.</p> | <p>Écrire la réaction de dissociation d'un complexe en milieu acide et calculer sa constante thermodynamique d'équilibre.</p> |
| <p>Réaction de précipitation d'un composé ionique. Produit de solubilité K_s; condition de précipitation. Domaine d'existence.</p> | <p>Utiliser la condition de précipitation pour déterminer si une solution est saturée. Établir un diagramme d'existence d'un composé ionique solide.</p> |
| <p>Solubilité. Facteurs de solubilité : température, ion commun, pH et complexation.</p> | <p>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</p> |
| <p>Oxydoréduction. Potentiel d'oxydoréduction, potentiel standard d'oxydoréduction. Affinité chimique de la réaction d'oxydoréduction.</p> | <p>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.</p> |
| <p>Formule de Nernst.</p> | <p>Déterminer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des potentiels standard.</p> |
| <p>Electrodes, électrodes de référence.</p> | <p>Décrire les électrodes usuelles utilisées au laboratoire : électrode d'argent, électrode de platine, électrode au calomel saturé et sa protection.</p> |
| <p>Pile</p> | <p>Prévoir les réactions aux électrodes et le sens de déplacement des charges et des ions.</p> |

| | |
|---|--|
| <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, détendeur 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 dioptries acoustiques seront décrites par analogie avec celles des dioptries optiques. La constitution d'une image est présentée par la mesure du temps d'écho sur un dioptrie 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> |

| | |
|--|---|
| <p>Analyse spectrale d'un rayonnement.</p> <p>Ondes sonores. Surpression acoustique. Intensité acoustique.</p> <p>Effet Doppler</p> <p>Dioptré acoustique ; réflexion et transmission d'une onde acoustique en incidence normale.</p> <p>Imagerie par échographie ultrasonore.</p> | <p>Sélectionner et mesurer une longueur d'onde dans le domaine visible à l'aide d'un monochromateur à réseau.</p> <p>Relier l'intensité acoustique à la moyenne quadratique de la surpression.</p> <p>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.</p> <p>Identifier le dioptré comme l'interface entre deux milieux de célérités différentes.</p> <p>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.</p> |
|--|---|

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 |
|---|---|
| <p>1. Conditions d'équilibre d'un solide</p> <p>Centre de masse d'un solide.</p> <p>Moment d'une force par rapport à un axe fixe. Bras de levier.</p> <p>Condition d'équilibre d'un solide dans un référentiel galiléen.</p> | <p>Définir le centre de masse d'un solide.</p> <p>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.</p> <p>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).</p> |
| <p>2. Forces conservatives, énergie potentielle</p> <p>Potentiel d'un champ newtonien : potentiel électrique et potentiel de gravitation.</p> | |

| | |
|--|--|
| 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>Mesure d'une vitesse. Tube de Pitot.</p> <p>Mesure d'un débit volumique. Tube de Venturi.</p> <p>Dynamique des fluides réels Viscosité dynamique ; viscosité cinématique.</p> <p>Force tangentielle de viscosité d'un fluide newtonien.</p> <p>Loi de Poiseuille. Résistance hydraulique.</p> <p>Nombre de Reynolds.</p> <p>Écoulement à bas nombre de Reynolds (écoulements rampants).</p> <p>Écoulement dans un milieu poreux. Porosité. Pression effective. Perméabilité. Loi de Darcy.</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>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>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>Identifier les propriétés des fluides newtoniens soumis à un cisaillement simple plan.</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>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>Calculer et interpréter le nombre de Reynolds d'un écoulement dans un conduit ou autour d'un obstacle. Connaître des ordres de grandeur du nombre de Reynolds permettant de différencier les régimes d'écoulements laminaire et turbulent.</p> <p>Identifier les propriétés des écoulements à bas nombre de Reynolds.</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> |
|---|---|

| | |
|---|---|
| <p>Mouvement d'une bille dans un fluide newtonien. Loi de Stokes.</p> | <p>Utiliser la loi de Darcy. Utiliser la pression motrice dans le cas d'une dénivellation.</p> <p>Identifier les conditions d'application de la loi de Stokes. Approche documentaire : Illustrer un processus de sédimentation.</p> <p>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.</p> |
|---|---|

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> <p>Présentation des acide, ester, amide, chlorure d'acyle, anhydride, nitrile. Activation du groupe carboxyle.</p> <p>Synthèse des esters et des amides.</p> | <p>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.</p> <p>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> |

| | |
|--|--|
| <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 E1_{cb} ; 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>Équations différentielles dites à variables séparables.</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 $A \cdot \exp(kt)$. Utiliser la notation complexe lorsque $f(t)$ est de la forme $A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$. 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> <p>Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables.</p> |
| <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> |