



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Programme de physique-chimie de la classe de BCPST 1<sup>ère</sup> année**

## Préambule

### Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de BCPST1 est conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques préparant les étudiants à la deuxième année de classe préparatoire et, au-delà, à un cursus d'ingénieur, de vétérinaire, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer les compétences de chaque étudiant, déjà travaillées durant le cycle terminal de la voie générale du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

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 qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles et des théories. 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 exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

### Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire BCPST.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de cinq thèmes : « **thème C – constitution et transformations de la matière** », « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** », « **thème S – ondes et signaux** » et « **thème T – phénomènes de transport** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. La progression dans les contenus disciplinaires est organisée en deux semestres. Pour faciliter la progressivité des apprentissages, les grandeurs physiques introduites au premier semestre sont d'abord des grandeurs scalaires, parfois algébriques. Les grandeurs vectorielles interviennent progressivement au cours de l'année. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants ; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles. Des thèmes d'étude communs avec les sciences de la vie et de la Terre sont identifiés et peuvent se prêter à une approche pédagogique concertée entre les deux enseignements, porteuse de sens et qui, par des éclairages complémentaires, ne peut que renforcer l'assimilation de ces connaissances par les étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin d'année en BCPST1.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression pour chacun des deux semestres ; celle-ci relève de la liberté pédagogique du professeur.

## Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. Dans leur grande majorité, elles sont communes à celles qui sont mises en œuvre dans d'autres enseignements scientifiques comme les sciences de la vie et de la Terre. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier et problématiser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée.</li><li>— Conduire l'observation d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles.</li><li>— Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, ...)</li><li>— Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal).</li><li>— Représenter la situation par un schéma modèle.</li><li>— Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole.</li><li>— Relier le problème à une situation modèle connue.</li><li>— Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.</li></ul>
<b>Analyser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Formuler des hypothèses.</li><li>— Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples.</li><li>— Proposer une stratégie pour répondre à une problématique.</li><li>— Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques.</li><li>— Estimer des ordres de grandeur.</li><li>— Proposer des analogies.</li><li>— Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations.</li><li>— Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.</li></ul>
<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle.</li><li>— Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie.</li><li>— Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure.</li><li>— Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité.</li><li>— Construire des représentations graphiques à partir de données.</li><li>— Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques.</li><li>— Conduire une analyse dimensionnelle.</li></ul>

<b>Valider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes.</li> <li>— Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances.</li> <li>— Discuter de la recevabilité d'une hypothèse, d'une information.</li> <li>— Analyser les résultats de manière critique.</li> <li>— Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...).</li> <li>— Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>
<b>Communiquer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente.</li> <li>◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation.</li> <li>◦ appuyer son propos sur des supports appropriés.</li> <li>◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.).</li> <li>◦ citer l'origine des sources utilisées.</li> </ul> </li> <li>— Écouter, confronter son point de vue.</li> </ul>

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d'initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l'engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques, en particulier le réchauffement climatique, notamment par application des principes du développement durable.

### Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout 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 favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, en particulier biologiques ou géologiques, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des **approches documentaires** est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie est articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, sciences de la vie et de la Terre, mathématiques et informatique.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- caractériser et valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

## Première partie

# Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur formation en première année de classe préparatoire BCPST. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

## 1 Mesures et incertitudes

Les notions et capacités identifiées ci-après constituent des objectifs de formation de la première année BCPST1. Leur apprentissage est néanmoins poursuivi et consolidé pendant la seconde année de formation en BCPST2. Sur le thème des mesures et incertitudes, l'accent est mis sur la variabilité de la mesure d'une grandeur physique et sa caractérisation à l'aide de l'incertitude-type. La comparaison entre deux valeurs d'une même grandeur physique est conduite au moyen de l'écart normalisé, l'objectif principal étant de développer l'esprit critique des étudiants en s'appuyant sur un critère quantitatif. Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, différents effets de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique dans le cas des incertitudes-types composées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <b>Capacité numérique :</b> simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.

## 2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques en première année de classe préparatoire BCPST. Le travail des capacités présentées ci-dessous et leur consolidation se poursuivent en 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. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

## 2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>Grandeurs physiques diverses</b> Mesure de volume, masse, pH, conductance et conductivité, pouvoir rotatoire, indice de réfraction, absorbance et transmittance.</p>	<p>Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser un appareil de mesure spécifique en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.</p>
<p><b>Mesures de durées et de fréquences</b> Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode directe de mesure de fréquence ou de période.</p>
<p><b>Mesures électriques</b> Mesure d'une tension : — mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesure de l'intensité d'un courant : — mesure directe à l'ampèremètre numérique ; — mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance ou d'une capacité : — mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; — mesure indirecte d'une résistance à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.</p>	<p>Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— choisir une résolution, un calibre et un nombre de points adaptés à la mesure ;</li> <li>— préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur un montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ;</li> <li>— définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.) ;</li> <li>— gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.</li> </ul>
<p>Caractérisation d'un dipôle quelconque.</p>	<p>Visualiser la caractéristique d'un dipôle à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.</p>
<p><b>Mécanique</b> Visualisation et décomposition d'un mouvement.</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>Mesure d'une accélération.</p>	<p>Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.</p>
<p>Mesure d'une action mécanique.</p>	<p>Utiliser un dynamomètre.</p>
<p><b>Thermodynamique</b> Mesure d'une pression.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.</p>
<p>Repérage d'une température.</p>	<p>Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur. Mettre en œuvre un capteur infrarouge. 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>Bilans d'énergie.</p>	<p>Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.</p>

## 2.2 Synthèses chimiques

La pleine maîtrise des différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses chimiques, qui sont présentées ci-après, et les fondements théoriques de ces techniques en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées, sont exigibles

des étudiants en fin de formation. Pour ce faire, les étudiants sont progressivement invités à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>Transformation chimique</b></p> <p>Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel. Suivi de l'évolution de la transformation.</p>	<p>Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.</p> <p>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. 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. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.</p>
<p><b>Séparation et purification</b></p> <p>Séparation de deux liquides non miscibles.</p> <p>Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.</p> <p>Séparation d'un soluté du solvant.</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 liquide.</p>	<p>Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.</p> <p>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. Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.</p> <p>Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.</p> <p>Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.</p> <p>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.</p> <p>Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.</p>

### 2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

La maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives destinées à caractériser une espèce chimique, à en estimer la pureté ou à la doser, est elle aussi développée tout au long de la formation. La mobilisation récurrente des capacités présentées amène progressivement les étudiants à prendre les initiatives adaptées pour proposer, de façon autonome, un protocole de mesure de concentrations ou de quantités de matière, ou une méthode de caractérisation d'une espèce chimique tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté</b></p>	<p>Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.</p>

Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Interpréter l'ordre d'élution des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Repérer une température de fusion. Mesure un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
<b>Dosages par étalonnage</b>	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
<b>Dosages par titrage</b> 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.	Identifier et exploiter la réaction support 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. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	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.
<b>Suivi cinétique de transformations chimiques</b> Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. 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.

### 3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, 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><b>Prévention des risques au laboratoire</b> Règles de sécurité au laboratoire.</p>	<p>Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.</p>
<p>Risque électrique.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.</p>
<p>Risque optique.</p>	<p>Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.</p>
<p>Risques liés à la pression et à la température.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.</p>
<p>Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.</p>	<p>Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.</p>
<p><b>Prévention de l'impact environnemental</b> Traitement et rejet des espèces chimiques.</p>	<p>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.</p>

## Deuxième partie

# Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

### Premier semestre

---

<b>Thème E – énergie : conversions et transferts</b>	9
E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système . . . . .	10
E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique . . . . .	10
<b>Thème S – ondes et signaux</b>	11
S.1 Propagation d'un signal physique . . . . .	11
S.2 Signaux électriques en régime stationnaire . . . . .	12
<b>Thème C – constitution et transformations de la matière</b>	13
C.1 Constitution et cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques . . . . .	13
C.2 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final . . . . .	15

### Second semestre

---

<b>Thème M – mouvements et interactions</b>	18
M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point . . . . .	18
M.2 Lois de Newton . . . . .	18
<b>Thème C – constitution et transformations de la matière</b>	20
C.3 Constitution de la matière : relation entre structure des entités chimiques et propriétés . . . . .	20
C.4 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système . . . . .	21
C.5 Transformations de la matière en chimie organique . . . . .	22
<b>Thème S – ondes et signaux</b>	25
S.3 Dynamique d'un circuit électrique du premier ordre . . . . .	25
<b>Thème E – énergie : conversions et transferts</b>	25
E.3 Formulation et application des principes de la thermodynamique à l'étude des machines thermiques . . . . .	25
E.4 Statique des fluides . . . . .	26
<b>Thème T – phénomènes de transport</b>	27
T.1 Transport de matière diffusif . . . . .	27

## Premier semestre

### Thème E – énergie : conversions et transferts

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique, où le rôle que peut jouer l'agitation thermique est souligné, à des grandeurs macroscopiques mesurables, cette partie propose d'abord, en s'appuyant sur des modèles fondamentaux, la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique. Le premier principe de la thermodynamique est ensuite énoncé et permet d'établir les premiers bilans énergétiques, dont la formulation rigoureuse constitue un des objectifs de formation privilégiés du programme de thermodynamique de BCPST1. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant, dès que possible, sur des dispositifs expérimentaux qui permettent leur acquisition progressive et authentique.

On utilise les notations suivantes : pour une grandeur extensive  $A$ ,  $a$  désigne la grandeur massique associée et  $A_m$  la grandeur molaire associée.

## E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Caractérisation d'un système thermodynamique</b> Système thermodynamique. Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. État d'équilibre thermodynamique.</p>	<p>Préciser les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique d'un système thermodynamique. Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité. Associer qualitativement la température et la pression aux propriétés physiques du système à l'échelle microscopique.</p>
<p><b>Gaz parfait</b> Modèle du gaz parfait. Masse volumique, température, pression. Équation d'état du gaz parfait. Énergie interne du gaz parfait. Extensivité de l'énergie interne. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.</p>	<p>Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz. Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un gaz considéré comme parfait, l'expression de la capacité thermique à volume constant étant fournie.</p>
<p><b>Phase condensée indilatable et incompressible</b> Modèle de la phase condensée indilatable et incompressible. Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée indilatable et incompressible.</p>	<p>Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'une phase condensée incompressible et indilatable en fonction de sa température.</p>
<p><b>Description d'un corps pur en équilibre diphasé</b> Corps pur en équilibre diphasé. Diagramme de phases (<math>P, T</math>). Cas particulier de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (<math>P, v</math>), pression de vapeur saturante, titre en vapeur.</p>	<p>Analyser un diagramme de phases expérimental (<math>P, T</math>). Positionner les différentes phases d'un corps pur dans les diagrammes (<math>P, T</math>) et (<math>P, v</math>).</p>

## E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique

Cette partie, centrée sur le premier principe de la thermodynamique, aborde les bilans d'énergie. Les relations entre variables d'état thermodynamiques considérées dans cette partie se limitent exclusivement à celles qui relèvent du modèle du gaz parfait ou du modèle de la phase condensée indilatable et incompressible. La loi de Laplace caractérisant l'évolution adiabatique et réversible d'un gaz parfait n'est pas exigible, pas plus que ses conditions de validité. Elle peut néanmoins être utilisée à condition d'être fournie. L'utilisation de diagrammes ( $P, h$ ), abordés dans la partie E.3, permet d'envisager des fluides dont le comportement s'écarte des modèles précités.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Transformations thermodynamiques</b> Transformation thermodynamique d'un système. Transformations isochore, isobare et monobare. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.</p>	<p>Identifier et définir un système ouvert, fermé, isolé. Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur au système pour déterminer l'état d'équilibre final.</p>
<p><b>Premier principe de la thermodynamique. Bilans d'énergie.</b> Premier principe de la thermodynamique.</p>	<p>Citer les différentes contributions microscopiques et macroscopiques à l'énergie d'un système donné. Utiliser le premier principe de la thermodynamique entre deux états d'équilibre thermodynamique. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne d'un système du statut des termes d'échange énergétique avec le milieu extérieur.</p>
<p><b>Travail</b></p>	

Travail des forces de pression.	Évaluer un 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 ou de Watt.
<b>Transferts thermiques</b> Modes de transferts thermiques. Transformation adiabatique.	Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection et rayonnement.
Flux thermique conductif en géométrie unidimensionnelle ; résistance thermique.	Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant fournie.
Flux thermique conducto-convectif : loi de Newton. Modélisation de l'évolution de la température d'un système incompressible et indilatable au contact d'un thermostat.	Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible et indilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.
Approche descriptive du rayonnement du corps noir. Loi du déplacement de Wien, loi de Stefan-Boltzmann.	Utiliser les expressions fournies des lois du déplacement de Wien et de Stefan-Boltzmann pour expliquer qualitativement l'effet de serre.
<b>Fonction d'état enthalpie</b> Fonction d'état enthalpie ; capacité thermique à pression constante d'un gaz parfait et d'une phase condensée.	Exprimer le premier principe de la thermodynamique 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. Exprimer l'enthalpie du gaz parfait à partir de l'énergie interne. Exprimer la variation d'enthalpie d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible en fonction de la variation de température. Citer la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
Variation d'enthalpie associée à un changement d'état.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie. Réaliser un bilan énergétique en prenant en compte des changements d'état. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion, etc.).</b>

## Thème S – ondes et signaux

### S.1 Propagation d'un signal physique

Cette partie permet de présenter, à partir d'exemples concrets, la variété des signaux physiques susceptibles de se propager, et de décrire qualitativement les mécanismes physiques sous-jacents et responsables de la propagation dans le cas d'un signal mécanique, acoustique ou sismique. Cette partie offre aussi l'occasion de dégager des caractéristiques communes simples de ces signaux, comme la célérité, l'amplitude, la fréquence et la longueur d'onde dans le cas d'un signal sinusoïdal. Aucune référence à une quelconque équation de propagation, ni aucune écriture mathématique de ses solutions ne sont requises. La dualité onde-particule de la lumière est introduite dans une approche principalement descriptive et qualitative. Il s'agit essentiellement de présenter le modèle du photon, utile dans d'autres parties du programme et de présenter quelques illustrations des interactions lumière-matière (par exemple : photosynthèse, rayonnement ionisant, spectroscopies, imagerie médicale et autres, cellule photovoltaïque, capteur de lumière, diode électroluminescente, etc.). La description géométrique de la propagation d'une onde lumineuse est réalisée à l'aide du modèle du rayon lumineux. L'accent est porté sur les phénomènes de réflexion et de réfraction. Ces notions sont ensuite étendues à la description de la propagation des ondes sismiques de volume, en lien avec les sciences de la vie et de la Terre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Signaux physiques</b> Exemples de signaux physiques.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux mécaniques, acoustiques, électriques et sismiques.

<p><b>Propagation d'un signal dans un milieu homogène, illimité, non dispersif et transparent</b> Célérité.</p>	<p>Obtenir l'expression de la célérité par analyse dimensionnelle à partir des grandeurs physiques fournies. Interpréter l'influence de ces grandeurs physiques sur la célérité. Citer les valeurs de la célérité du son dans l'air et dans l'eau dans les conditions usuelles.</p>
<p>Retard temporel.</p>	<p>Exploiter la relation entre la distance parcourue par le signal, le retard temporel et la célérité. Exploiter des données pour localiser l'épicentre d'un séisme.</p>
<p>Approche descriptive de la propagation d'un signal unidimensionnel.</p> <p>Cas particulier du signal sinusoïdal : amplitude, double périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Exploiter une représentation graphique donnant l'amplitude du signal en fonction du temps en un point donné, ou en fonction de la position à un instant donné. Exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Citer les limites en termes de fréquences du spectre audible par l'être humain. <b>Mesurer la célérité d'un phénomène ondulatoire.</b></p>
<p><b>Rayonnement électromagnétique : modèles ondulatoire et particulaire de la lumière</b> Domaines spectraux du rayonnement électromagnétique.</p>	<p>Citer des ordres de grandeur de longueurs d'onde associées aux différents domaines spectraux du rayonnement électromagnétique (ondes radio, micro-ondes, rayonnements infrarouge, visible, ultraviolet, rayons X et gamma). Citer des applications scientifiques et techniques des différents domaines spectraux de rayonnement électromagnétique.</p>
<p>Photon : énergie, loi de Planck-Einstein. Effet photoélectrique et photoionisation.</p>	<p>Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique et l'effet photoionisant à l'aide du modèle particulaire de la lumière.</p>
<p><b>Réflexion, réfraction</b> Notion de rayon lumineux dans le modèle de l'optique géométrique. Indice optique d'un milieu transparent.</p>	<p>Définir le modèle de l'optique géométrique et en indiquer les limites.</p>
<p>Réflexion, réfraction des ondes lumineuses. Lois de Snell-Descartes.</p>	<p>Établir la condition de réflexion totale.</p>
<p>Rais sismiques. Généralisation des lois de Snell-Descartes aux ondes sismiques de volume.</p>	<p>Appliquer les lois de la réflexion et de la réfraction à l'étude de la propagation des ondes sismiques de volume dans la Terre.</p>

## S.2 Signaux électriques en régime stationnaire

Cette partie pose les bases nécessaires à l'étude des circuits électriques. Il s'agit avant tout de comprendre les principes utilisés et leur mise en œuvre. Si cette partie du programme se concentre sur l'étude du dipôle résistif, il est possible, lors des travaux pratiques, de faire appel à d'autres composants (diodes, photorésistances, thermistances, etc.) dès lors qu'aucune connaissance préalable sur leur fonctionnement n'est nécessaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Grandeurs électriques</b> Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime variable et régime stationnaire. Potentiel électrique, référence de potentiel, tension électrique. Mise à la terre.</p>	<p>Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges électriques. Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeur d'intensité et de tension électriques dans différents domaines d'application, et en particulier en lien avec la prévention du risque électrique.</p>
<p><b>Circuits en régime continu</b></p>	

Source de tension.	Modéliser une source de tension en utilisant la représentation de Thévenin.
Dipôle résistif, résistance, loi d'Ohm. Associations de deux résistances. Pont diviseur de tension.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Exploiter des ponts diviseurs de tension. <b>Mettre en œuvre un capteur résistif.</b>
<b>Aspect énergétique</b> Puissance et énergie électriques. Effet Joule.	Établir un bilan de puissance dans un circuit électrique.

## Thème C – constitution et transformations de la matière

### C.1 Constitution et cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques

Dans cette partie, sont abordées la constitution et la cohésion de la matière à l'échelle des entités chimiques (atomes, ions, molécules). L'objectif principal est d'envisager les différents niveaux d'étude pour parvenir à la description et à la représentation spatiale d'une entité puis, au second semestre, la description des propriétés physico-chimiques associées. La chimie organique est introduite en lien avec les programmes de sciences de la vie et de la Terre, par une première approche notamment des groupes caractéristiques et des familles fonctionnelles intervenant dans le domaine du vivant.

#### C.1.1 Constitution et cohésion au sein des atomes

L'étude de la structure de l'atome est l'occasion d'aborder les ordres de grandeur caractéristiques (distances, énergies). Les spectres de raies atomiques permettent d'introduire la notion de quantification des niveaux d'énergie électroniques. La configuration électronique des atomes, abordée dans le cycle terminal de la voie générale du lycée, est réinvestie en lien avec le tableau périodique, sans introduire les nombres quantiques. L'objectif est de systématiser le recours au tableau périodique pour déterminer le nombre d'électrons de valence d'un atome ou d'un ion monoatomique et pour comparer les propriétés d'électronégativité ou de polarisabilité de deux atomes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Modélisation quantique de l'atome</b> Constitution de l'atome. Spectre de raies atomiques et quantification des niveaux énergétiques électroniques. Notion d'orbitale atomique : probabilité de présence des électrons, allures des orbitales atomiques <i>s</i> et <i>p</i> .	Relier longueurs d'onde d'émission ou d'absorption et diagramme de niveaux d'énergie électroniques. Citer les ordres de grandeur des énergies d'ionisation et des distances caractéristiques dans l'atome.
Classification périodique et configuration électronique : électrons de cœur, électrons de valence.	Établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental à partir de son numéro atomique, pour les trois premières périodes. En déduire la configuration électronique des ions monoatomiques usuels. Établir la configuration électronique de valence d'un atome à partir du tableau périodique (bloc <i>f</i> exclu).
Lien entre propriétés atomiques et tableau périodique : électronégativité, polarisabilité.	Comparer les électronégativités et les polarisabilités de deux atomes à partir des positions des éléments associés dans le tableau périodique.

#### C.1.2 Cohésion au sein d'entités polyatomiques : molécules et ions

La notion de recouvrement des orbitales atomiques (OA) est qualitativement présentée comme origine du modèle de la liaison covalente localisée puis délocalisée, en lien avec des données expérimentales. Le modèle VSEPR est limité aux cas les plus courants, en lien avec les structures des entités les plus représentées en chimie organique. La polarité d'une entité est reliée à sa géométrie et aux propriétés des atomes qui la constituent.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Modèles de la liaison covalente</b> Modèle de Lewis de la liaison covalente localisée. Modèle quantique de la liaison : recouvrement des OA, notion de liaison $\sigma$ et de liaison $\pi$ .	Relier qualitativement à la notion de recouvrement des OA les différences d'ordres de grandeur des énergies des liaisons $\sigma$ et $\pi$ pour une liaison entre deux atomes de carbone.

<p>Longueur et énergie de la liaison covalente.</p> <p>Représentation de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique. Hypervalence.</p> <p>Modèles de la liaison covalente délocalisée : mésomérie.</p>	<p>Citer les ordres de grandeur de longueurs et d'énergies de liaisons covalentes.</p> <p>Établir une ou des représentations de Lewis pertinentes pour une molécule ou un ion polyatomique.</p> <p>Identifier les enchaînements donnant lieu à une délocalisation électronique dans une entité et représenter les formules mésomères limites d'une entité chimique.</p> <p>Mettre en évidence une éventuelle délocalisation électronique à partir de données sur les longueurs de liaison.</p>
<p><b>Géométrie et polarité des entités chimiques</b></p> <p>Géométrie d'une molécule ou d'un ion polyatomique; modèle VSEPR. Représentation de Cram.</p>	<p>Associer qualitativement la géométrie d'une entité à la minimisation de son énergie.</p> <p>Prévoir et interpréter les structures de type <math>AX_n</math> avec <math>n \leq 4</math> et <math>AX_pE_q</math> avec <math>p + q = 3</math> ou <math>4</math>.</p> <p>Interpréter des écarts entre les prévisions du modèle VSEPR et des données structurales.</p>
<p>Liaison polarisée, moment dipolaire, entité polaire.</p> <p>Pourcentage d'ionicité d'une liaison, limites du modèle de la liaison covalente localisée et du modèle de la liaison ionique.</p>	<p>Prévoir l'existence ou non d'un moment dipolaire permanent d'une entité chimique et représenter, le cas échéant, la direction et le sens du moment dipolaire.</p> <p>Déduire de l'électronéutralité de la matière la stœchiométrie d'un solide ionique.</p>

### C.1.3 Constitution et caractérisation spectroscopique d'entités chimiques organiques et intervenant dans la chimie du vivant

En lien avec le programme de sciences de la vie et de la Terre, des familles fonctionnelles en chimie organique et des familles d'entités chimiques intervenant dans la chimie du vivant sont présentées. La structure d'entités organiques est validée par l'exploitation de spectres IR et RMN  $^1\text{H}$  sans qu'aucun développement théorique sur ces techniques spectroscopiques ne soit abordé. Le modèle de Lewis permet d'introduire les notions d'isomérie de configuration et de conformation. Les ordres de grandeur des énergies de liaison et de la barrière conformationnelle permettent de sensibiliser à la solidité et à la flexibilité des édifices polyatomiques. À ce stade, il n'y a pas d'attendus en termes de nomenclature IUPAC, cette dernière étant étudiée progressivement lors de l'étude des transformations chimiques organiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Familles d'entités chimiques organiques</b></p> <p>Familles fonctionnelles en chimie organique : amine, amide, cétone, aldéhyde, alcool, thiol, ester, acide carboxylique, hémiacétal et acétal, anhydride phosphorique.</p> <p>Familles d'entités chimiques intervenant dans la chimie du vivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ sucres (ou oses) et autres glucides;</li> <li>◦ acides gras, triglycérides, phosphoglycérides et autres lipides;</li> <li>◦ acides aminés, peptides et protéines;</li> <li>◦ nucléosides, nucléotides, acides nucléiques.</li> </ul>	<p>Reconnaître et nommer les familles fonctionnelles présentes dans la représentation d'une entité chimique.</p> <p>Reconnaître et nommer la famille à laquelle appartient une entité chimique intervenant dans la chimie du vivant.</p>
<p><b>Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge</b></p> <p>Nature des transitions associées aux spectroscopies UV-visible et infrarouge, domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondant.</p> <p>Transmittance, absorbance.</p>	<p>Relier la longueur d'onde du rayonnement absorbé à la nature et à l'énergie de la transition associée.</p> <p>Identifier, à partir du spectre infrarouge et de tables de nombres d'onde de vibration, une liaison ou un groupe caractéristique dans une entité chimique organique.</p>
<p><b>Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton</b></p> <p>Exploitation de spectres RMN <math>^1\text{H}</math>. Déplacement chimique, intégration. Multiplicité d'un signal : couplages du premier ordre <math>A_mX_p</math> et <math>A_mM_pX_q</math>.</p>	<p>Confirmer ou attribuer la structure d'une entité à partir de données spectroscopiques infrarouge et/ou de résonance magnétique nucléaire du proton et de tables de nombres d'onde ou de déplacements chimiques caractéristiques.</p>

<p><b>Isomérisation en chimie organique</b></p> <p>Isomérisation de constitution : isomérisation de chaîne, isomérisation de famille fonctionnelle.</p> <p>Représentation de Newman.</p> <p>Stéréoisomérisation de conformation en série aliphatique non cyclique ; ordre de grandeur de la barrière conformationnelle.</p> <p>Chiralité.</p> <p>Stéréoisomérisation de configuration : descripteurs stéréochimiques <i>R</i>, <i>S</i>, <i>Z</i>, <i>E</i>, énantiomérisation, diastéréoisomérisation.</p>	<p>Déterminer la relation d'isomérisation entre deux isomères de constitution.</p> <p>Comparer la stabilité de plusieurs conformations.</p> <p>Déterminer si une entité est chirale.</p> <p>Attribuer un descripteur stéréochimique à un centre stéréogène.</p> <p>Déterminer la relation d'isomérisation entre deux stéréoisomères.</p> <p>Représenter une entité chimique organique à partir de son nom, en tenant compte de la donnée d'éventuelles informations stéréochimiques.</p> <p>Interpréter l'importance de la structure spatiale par des exemples pris dans le domaine du vivant.</p>
---	--

## C.2 Transformations chimiques : évolution d'un système vers un état final

L'objectif de cette partie est d'amener les étudiants à mobiliser de manière autonome les notions et modèles pour décrire, au niveau macroscopique, un système physico-chimique et son évolution. Il convient que les problématiques abordées, les illustrations et les applications prennent largement appui sur des transformations chimiques rencontrées dans la vie courante, au laboratoire, en milieu industriel ou dans le monde du vivant. À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- décrire un système physico-chimique en utilisant un vocabulaire scientifique précis ;
- effectuer une distinction entre le monde des objets et des phénomènes (systèmes physico-chimiques, transformations chimiques) et celui des modèles (réaction chimique comme modèle d'une transformation au niveau macroscopique) ;
- proposer des approximations simplifiant l'exploitation quantitative de données expérimentales et en vérifier la pertinence ;
- confronter les prévisions d'un modèle avec des résultats expérimentaux ;
- traduire, en langage de programmation, les démarches mises en œuvre pour déterminer l'état final d'un système.

### C.2.1 Prévoir l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique

L'étude quantitative de l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique, est réalisée dans un premier temps à partir d'une modélisation par une seule réaction chimique, symbolisée par une équation de réaction à laquelle est associée une constante thermodynamique d'équilibre. Il s'agit de prévoir le sens d'évolution de systèmes homogènes ou hétérogènes, et de déterminer leur composition dans l'état final.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Système physico-chimique</b></p> <p>Espèce physico-chimique.</p> <p>Mélange : concentration en quantité de matière, fraction molaire, pression partielle.</p>	<p>Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système.</p> <p>Décrire la composition d'un système à l'aide des grandeurs physiques pertinentes.</p>
<p><b>Bilan de matière d'une transformation</b></p> <p>Modélisation d'une transformation par une ou plusieurs réactions chimiques.</p> <p>Équation de réaction ; avancement, taux d'avancement, caractère total ou non d'une transformation.</p>	<p>Écrire l'équation de la réaction (ou des réactions) qui modélise(nt) une transformation chimique à partir d'informations fournies.</p> <p>Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans l'état final à partir de données expérimentales.</p>
<p><b>Évolution d'un système</b></p> <p>Activité, quotient de réaction.</p>	<p>Exprimer le quotient de réaction.</p>

Constante thermodynamique d'équilibre $K^\circ$ .	Associer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre au caractère thermodynamiquement favorable ou non d'une réaction. Déterminer la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques d'équilibre sont connues.
Critère d'évolution.	Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système physico-chimique.
<b>Composition à l'état final</b> État d'équilibre chimique d'un système, transformation totale.	Déterminer la composition 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. <b>Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre et tester l'influence de différents paramètres sur la composition finale d'un système.</b>

### C.2.2 Applications aux transformations modélisées par des réactions acide-base

Les notions et les méthodes introduites dans la partie précédente sont réinvesties pour l'étude de transformations modélisées par des réactions acide-base. À cette occasion, des outils graphiques (diagrammes de prédominance et de distribution des espèces) sont introduits pour faciliter la modélisation d'une transformation, valider la détermination d'une composition à l'état final ou interpréter une courbe de suivi de titrage acido-basique.

La détermination analytique de la composition à l'état final est limitée à des transformations modélisées par une unique réaction chimique. La détermination de l'état final d'un système peut permettre d'accéder à une valeur de pH final qui peut être confrontée à une mesure de pH pour valider le modèle de réaction choisie. Aucune formule de calcul de pH n'est exigible. L'étude théorique des titrages acido-basiques n'est pas exigible, les courbes de suivi pH-métriques et conductimétriques étant analysées au moyen de diagrammes de prédominance et/ou de distribution des espèces.

En vue de faciliter l'appropriation des modèles proposés, le professeur utilise, et met à disposition des étudiants, des simulations obtenues à l'aide d'un langage de programmation. Ces simulations peuvent servir à illustrer le rôle de la constante d'acidité  $K_a$  et de la concentration initiale sur le taux d'avancement de la réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau, mais également à tester la pertinence de la modélisation d'une transformation par une unique réaction chimique en comparant l'état final obtenu avec une ou avec deux réactions chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Couple acide-base. Constante d'acidité $K_a$ d'un couple, constantes d'acidité des deux couples acide-base de l'eau.	Reconnaître un couple acide-base. Écrire l'équation de la réaction associée à la constante d'acidité d'un couple donné.
pH, diagramme de prédominance, diagramme de distribution : tracé et exploitation. Application aux acides aminés, point isoélectrique.	Extraire les valeurs de constantes d'acidité de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance. <b>Capacité numérique :</b> tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le diagramme de distribution des espèces d'un ou plusieurs couple(s) acide-base, et déterminer la valeur du point isoélectrique d'un acide aminé.
Réaction acide-base; relation entre la constante thermodynamique d'équilibre et les constantes d'acidité des couples mis en jeu.	Reconnaître une réaction acide-base à partir de son équation. Écrire l'équation de la réaction acide-base modélisant une transformation en solution aqueuse et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre.
Mise en solution et réaction d'un acide ou d'une base dans l'eau, modèle des acides et bases forts, des acides et bases faibles. Exemples usuels d'acides et de bases : nom, formule et caractère – faible ou fort – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, éthanóique, du dioxyde de carbone aqueux, de la soude, la potasse, l'ion hydrogéno-carbonate, l'ion carbonate, l'ammoniac.	Identifier le caractère fort ou faible d'un acide ou d'une base à partir d'informations fournies (pH d'une solution de concentration donnée, espèces présentes dans l'état final, constante d'acidité $K_a$ ). Citer l'influence de la constante d'acidité $K_a$ et de la concentration de l'acide ou de la base sur le taux d'avancement de la réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau.

Exploitation de diagrammes de prédominance et état final d'un système.	Extraire les données thermodynamiques pertinentes de tables pour étudier un système en solution aqueuse. Utiliser les diagrammes de prédominance pour identifier des espèces incompatibles ou prévoir la nature des espèces majoritaires. Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'hypothèses adaptées. <b>Mettre en œuvre une réaction acide-base pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</b>
Solutions tampons.	Citer les propriétés d'une solution tampon et les relier à sa composition. Citer des couples acide-base jouant un rôle de tampon dans des systèmes biologiques et géologiques.

### C.2.3 Applications aux transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction

Les transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction sont abordées par analogie avec celles modélisées par des réactions acide-base. L'étude des piles permet d'introduire la notion de potentiel d'électrode, dont la relation de Nernst, admise, permet de calculer la valeur à l'équilibre. Ici encore, l'utilisation d'outils graphiques est privilégiée pour faciliter la prévision ou l'interprétation de transformations. La détermination analytique de la composition à l'état final est limitée à des transformations modélisées par une unique réaction chimique. La relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard est admise. La notion de nombre d'oxydation permet de réinvestir le tableau périodique et de comparer des états d'oxydation du carbone dans les familles fonctionnelles rencontrées en chimie organique ou dans des systèmes biologiques. La capacité à tracer un diagramme de prédominance ne peut porter que sur des situations où la concentration totale en quantité de matière des solutés est fournie. Si la frontière sépare deux solutés, alors leurs concentrations en quantité de matière sont nécessairement égales sur la frontière.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs, nombre d'oxydation. Couple oxydant-réducteur. Exemples d'oxydants et de réducteurs minéraux usuels : nom et formule des ions thiosulfate, permanganate, hypochlorite, du dichlore, du peroxyde d'hydrogène, du dioxygène, du dihydrogène, des métaux. Application à la chaîne d'oxydation des alcools.	Lier la position d'un élément dans le tableau périodique et le caractère oxydant ou réducteur du corps simple correspondant. 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.
Pile, tension à vide, potentiel d'électrode, potentiel standard, relation de Nernst. Réactions électrochimiques aux électrodes. Diagrammes de prédominance ou d'existence : tracé et exploitation.	Modéliser le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrode. Déterminer la capacité électrique d'une pile. <b>Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.</b>
Réaction d'oxydo-réduction. Constante thermodynamique d'équilibre. Dismutation et médismutation.	Identifier une réaction d'oxydo-réduction à partir de son équation. Écrire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction modélisant une transformation en solution aqueuse et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre. Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des potentiels standard des couples mis en jeu.

Exploitation de diagrammes de prédominance ou d'existence. Composition d'un système à l'état final.	Extraire les données thermodynamiques pertinentes de tables pour étudier un système en solution aqueuse. Exploiter les diagrammes de prédominance ou d'existence pour identifier les espèces incompatibles ou prévoir la nature des espèces majoritaires. Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'une hypothèse adaptée. <b>Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.</b>
Influence du pH sur les propriétés d'oxydo-réduction; potentiel standard apparent en biologie.	Relier le pouvoir oxydant ou réducteur d'un couple à son potentiel standard apparent.

## Second semestre

### Thème M – mouvements et interactions

#### M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point

Cette partie a pour objectif de permettre aux étudiants de disposer d'outils efficaces pour décrire le mouvement d'un point matériel ou d'un système matériel. Les mouvements étudiés se limitent à ceux qui peuvent être efficacement décrits au moyen de coordonnées cartésiennes. Il convient de familiariser progressivement les étudiants avec les projections et les dérivations de vecteurs, ainsi qu'avec l'algèbrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Repérage dans l'espace et dans le temps</b> Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement.	Choisir un référentiel adapté à la description du mouvement étudié.
<b>Cinématique du point</b> Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Système des coordonnées cartésiennes.	Exprimer, à partir d'un schéma, le déplacement élémentaire et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes. Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes.
Mouvement rectiligne uniformément accéléré.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.
Mouvement de vecteur accélération constant.	Établir l'expression de la vitesse et de la position en fonction du temps. Déterminer la vitesse en une position donnée. Obtenir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
	<b>Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.</b>

#### M.2 Lois de Newton

Cette partie permet d'abord de renforcer les compétences des étudiants relatives à la modélisation du mouvement d'un système dans le cadre de la mécanique classique, qu'il s'agisse des étapes de bilan des actions mécaniques, de projection de la deuxième loi de Newton dans la base des coordonnées cartésiennes ou de résolution des équations du mouvement. L'étude du mouvement d'un système matériel dans le champ de pesanteur uniforme constitue le cadre privilégié pour consolider

les compétences précitées. D'autres situations peuvent être proposées, dès lors qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire quant aux caractéristiques des forces mobilisées autres que le poids. Dans un second temps, l'introduction du modèle de force de frottement linéaire en vitesse permet d'enrichir l'étude du mouvement d'un point ou d'un système matériel et de confronter les étudiants aux limites de validité de ce modèle, et ainsi de donner toute leur importance aux étapes de modélisation et de validation d'un modèle. En seconde année, la prise en compte d'un modèle non linéaire en vitesse pour la force de frottement fluide vient compléter cette étude. Cette partie donne aussi l'occasion d'une première rencontre avec le modèle de l'oscillateur harmonique, qui joue un rôle majeur en physique et dont l'étude est approfondie en seconde année. L'étude de la déformation élastique d'un matériau comme la modélisation des frottements de glissement sont une première excursion dans la science des matériaux qui peut être illustrée dans le contexte de la géologie. On cherche également, grâce à quelques exemples pertinents, à renforcer les compétences d'analyse qualitative d'une équation différentielle : écriture sous forme adimensionnée, comportement asymptotique de la solution, positions d'équilibre, type d'évolution, durée ou période d'évolution, etc.

### M.2.1 Quantité de mouvement d'un système matériel

Notions et contenus	Capacités exigibles
Masse d'un système matériel. Conservation de la masse d'un système matériel fermé. Centre de masse d'un système matériel.	Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système matériel, cette position étant donnée.
Quantité de mouvement d'un système matériel.	Utiliser la relation entre la quantité de mouvement d'un système matériel et la vitesse de son centre de masse.

### M.2.2 Lois de Newton

Notions et contenus	Capacités exigibles
Première loi de Newton, principe d'inertie. Référentiel galiléen.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens. Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.
Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des actions mécaniques s'exerçant sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte en représentant les forces associées sur une figure.
Deuxième loi de Newton. Équilibre d'un système.	Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force à l'aide d'un microcontrôleur ou d'analyser un mouvement enregistré.</b>
<b>Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme</b> Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.	Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. Établir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
Modèle d'une force de frottement fluide linéaire en vitesse. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. Vitesse limite.	Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement, par exemple : écriture sous forme adimensionnée, analyse en ordres de grandeur, existence d'une vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par résolution numérique, etc.
Modèle du frottement de glissement : lois de Coulomb.	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.

Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.	Caractériser une déformation élastique linéaire par sa réversibilité et son amplitude proportionnelle à la force appliquée. Extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de mesures expérimentales ou de données. Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux.
Exemple d'oscillateur harmonique : système masse-ressort en régime libre. Pulsation et période propres.	Déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement. Déterminer les expressions de la pulsation et de la période propres du mouvement.

## Thème C – constitution et transformations de la matière

### C.3 Constitution de la matière : relation entre structure des entités chimiques et propriétés

L'étude des interactions entre entités chimiques a pour objectif d'interpréter, de prévoir ou de comparer des propriétés physiques : température de changement d'état, miscibilité, solubilité, formation de micelles et d'émulsions. Diverses illustrations et applications dans la vie courante ou au niveau du laboratoire (choix de solvant pour les synthèses et les extractions, interprétation des chromatogrammes sur couche mince) ou dans le domaine du vivant (double couche lipidique) peuvent être proposées.

#### C.3.1 Relation entre structure des entités chimiques et interactions à l'échelle des entités chimiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Polarisabilité d'une entité polyatomique.	Comparer qualitativement le caractère polarisable de deux entités chimiques polyatomiques.
Interactions de van der Waals. Liaisons hydrogène (interactions par pont hydrogène). Interactions ion-ion et ion-dipôle.	Citer les ordres de grandeur des énergies mises en jeu dans les liaisons covalentes, liaisons hydrogène, interactions de van der Waals et interactions ion-ion. Prévoir, à partir de leur nature et leur structure, les interactions entre entités chimiques.

#### C.3.2 Relation entre structure des entités chimiques et propriétés physiques macroscopiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Changements d'état des corps purs</b> Température de changement d'état d'espèces chimiques moléculaires.	Prévoir ou interpréter l'évolution de températures de changement d'état d'espèces chimiques moléculaires en s'appuyant sur l'analyse des interactions entre entités chimiques associées.
<b>Solubilité, miscibilité</b> Grandeurs caractéristiques et propriétés de solvants moléculaires : moment dipolaire, permittivité relative, caractère protogène. Mise en solution d'une espèce chimique moléculaire ou d'un solide ionique.	Utiliser des données expérimentales pour en déduire les propriétés d'un solvant moléculaire. Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Interpréter les différences de rapports frontaux de deux espèces chimiques lors d'une chromatographie sur couche mince. Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique dans un solvant donné.
<b>Amphiphilie</b>	

Espèces chimiques amphiphiles, micelles, structure schématique des membranes cellulaires. Émulsions.	Prévoir le caractère amphiphile d'une entité à partir de sa structure et interpréter sa solubilité dans un solvant. Interpréter la structure d'une association d'entités amphiphiles (micelle, bicouche, membrane cellulaire). Citer des exemples d'émulsions de la vie courante. Décrire la structure d'une émulsion en distinguant phase dispersée et phase continue. Interpréter les propriétés détergentes ou émulsifiantes des espèces chimiques amphiphiles.
---	--

## C.4 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système

### C.4.1 Modélisation macroscopique : lois de vitesse et loi d'Arrhenius

L'étude de l'évolution temporelle d'un système chimique permet, dans un premier temps, de mettre en évidence expérimentalement les facteurs cinétiques concentration et température, et de les mettre en œuvre en stratégie de synthèse et d'analyse. Cette étude est prolongée par les premières modélisations macroscopiques d'évolution des concentrations avec des lois de vitesse d'ordre simple et d'influence de la température avec la loi d'Arrhenius. Les déterminations d'ordre global ou apparent mettent en œuvre la méthode différentielle ou intégrale, et peuvent s'effectuer à l'aide de tableurs ou de programmes élaborés en langage de programmation, pour l'exploitation des mesures dans le cadre d'un réacteur fermé parfaitement agité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Vitesses volumiques de consommation d'un réactif et de formation d'un produit. Temps de demi-vie d'un réactif. Vitesse volumique de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique (supposée sans accumulation d'intermédiaires). Temps de demi-réaction d'une transformation totale ou non.	Relier la vitesse volumique de réaction à la vitesse volumique de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation et à partir de données expérimentales, tracer l'évolution temporelle d'une concentration, d'une vitesse volumique de formation ou de consommation, d'une vitesse volumique de réaction.
Lois de vitesse : réactions sans ordre, réactions avec ordre simple (0, 1, 2), ordre global, ordre apparent.  Loi empirique d'Arrhenius et énergie d'activation.	Exprimer la loi de vitesse dans le cas d'une réaction chimique admettant un ordre, en se limitant strictement à des cas d'ordre 0, 1 ou 2 pour un unique réactif, ou se ramenant à un tel cas par dégénérescence de l'ordre ou conditions initiales stœchiométriques. Déterminer un temps de demi-réaction à partir d'une loi de vitesse. Déterminer un ordre de réaction à l'aide de la méthode différentielle ou par la méthode intégrale. Déterminer la valeur de la constante cinétique à une température donnée. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation et à partir de données expérimentales, déterminer les ordres partiels, la constante de vitesse et l'énergie d'activation. <b>Établir une loi de vitesse, déterminer des ordres partiels, la constante de vitesse et l'énergie d'activation à partir du suivi temporel d'une grandeur physique.</b>
Facteurs cinétiques (concentration et température) en stratégie de synthèse et d'analyse : dilution, chauffage, reflux, trempe.	Reconnaître, dans un protocole, des opérations visant à augmenter ou à diminuer une vitesse de réaction.

### C.4.2 Modélisation microscopique : mécanismes réactionnels et lois de vitesse dans des cas simples

La modélisation, au niveau microscopique, d'une transformation chimique s'appuie sur les mécanismes réactionnels. L'obtention d'une loi de vitesse à partir d'un mécanisme réactionnel est limitée, en première année, aux cas présentant une étape cinétiquement déterminante et permettant d'appliquer l'approximation du pré-équilibre rapide (l'approximation de l'état quasi-stationnaire est abordée dans le programme de deuxième année). Une approche numérique doit ici permettre

de favoriser la réflexion sur les phénomènes plutôt que la technicité calculatoire. Dans ce but, le professeur utilise, et met à disposition des étudiants, des simulations obtenues à partir d'un langage de programmation, afin d'illustrer le modèle de l'étape cinétiquement déterminante et d'identifier les conditions de son utilisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modélisation microscopique d'une transformation : mécanisme réactionnel, actes élémentaires, intermédiaires réactionnels. Molécularité d'un acte élémentaire et loi de van't Hoff.  Profil réactionnel.	Retrouver l'équation de la réaction modélisant la transformation à partir d'un mécanisme réactionnel par stades. Écrire la loi de vitesse d'un acte élémentaire.  Distinguer un intermédiaire réactionnel d'un complexe activé sur un profil réactionnel.
Modélisation d'une transformation par deux actes élémentaires opposés, état d'équilibre d'un système.  Modélisation d'une transformation par deux actes élémentaires successifs. Notion d'étape cinétiquement déterminante. Traitement cinétique d'un mécanisme : approximation de l'étape cinétiquement déterminante, approximation du pré-équilibre rapide.	<b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation, tracer l'évolution des concentrations par résolution numérique de l'équation différentielle. Exprimer en termes de concentrations l'égalité des vitesses à l'équilibre dans le cas d'une transformation modélisée par deux actes élémentaires opposés.  Reconnaître, à partir d'informations fournies, les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante ou de l'approximation du pré-équilibre rapide et établir la loi de vitesse de réaction à partir d'un mécanisme réactionnel. Confronter le résultat à la loi de vitesse expérimentale.

#### C.4.3 Catalyse, catalyseurs

Introduit expérimentalement, l'effet catalytique est modélisé, au niveau microscopique, par un mécanisme réactionnel concurrent présentant des étapes plus nombreuses et plus faciles. L'étude de la catalyse enzymatique est illustrée par des exemples pris dans le domaine du vivant ou d'applications utilisant le biomimétisme, et permet de réinvestir les structures et interactions entre entités chimiques. En ce qui concerne la catalyse enzymatique, seul le mécanisme sans inhibiteur dans le modèle de Michaelis-Menten doit être connu, les autres mécanismes faisant intervenir des inhibiteurs sont fournis pour pouvoir établir la loi de vitesse.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Catalyse d'une transformation, catalyseur.	Citer les propriétés d'un catalyseur et identifier un catalyseur d'une transformation à l'aide de données expérimentales.
Intervention du catalyseur dans le mécanisme réactionnel.	Reconnaître un catalyseur dans un mécanisme réactionnel. Mettre en évidence un effet catalytique par comparaison des profils réactionnels sans et avec catalyseur.
Catalyse enzymatique, site actif d'une enzyme, complexe enzyme-substrat. Modèles de Michaelis-Menten avec et sans inhibiteur.	Établir la loi de vitesse de formation d'un produit dans le cadre du modèle de Michaelis-Menten avec pré-équilibre rapide, les mécanismes avec inhibiteurs étant fournis.

### C.5 Transformations de la matière en chimie organique

Afin de faciliter cette introduction à la chimie organique et dans le but de préparer les étudiants à proposer des stratégies de synthèse simples, les mécanismes retenus en première année ne font pas intervenir d'étapes d'activation de groupes caractéristiques.

L'étude des caractéristiques stéréochimiques des réactions peut être abordée dans un second temps pour privilégier une spiralisation et une progressivité des acquisitions.

L'utilisation d'une banque de réactions permet d'enrichir les activités proposées et d'utiliser des transformations dont la connaissance n'est pas attendue des étudiants pour l'élaboration de stratégies de synthèse multi-étapes.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer le choix d'un mécanisme réactionnel en synthèse organique;
- acquérir des connaissances et compétences autour des interconversions entre groupes caractéristiques et des modifications de chaînes carbonées;
- 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.

### C.5.1 Transformations : du macroscopique au microscopique

L'objectif de cette partie est de familiariser les étudiants avec les raisonnements de la synthèse organique. Des exemples de synthèses totales ou de biosynthèses d'espèces chimiques dans le domaine du vivant pourront servir de support pour identifier des modifications de groupes caractéristiques et/ou de chaîne carbonée. Les techniques de spectroscopie, développées au premier semestre, permettent d'introduire les notions de chimiosélectivité et régiosélectivité. La partie « constitution de la matière » est réinvestie pour établir les propriétés nucléophiles et électrophiles des entités chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Du macroscopique...</b> Modification de groupes caractéristiques. Modification de la chaîne carbonée (allongement ou coupure). Types de réactions en chimie organique : addition, substitution, élimination, oxydation, réduction. Utilisation d'une banque de réactions.	Identifier le rôle (modification de la chaîne carbonée et/ou de groupes caractéristiques) d'une étape d'une synthèse organique multi-étapes. Identifier la nature d'une réaction en chimie organique.
Chimiosélectivité, régiosélectivité.	Utiliser une banque de réactions pour proposer une synthèse multi-étapes d'une espèce chimique organique. Identifier, à l'aide d'une banque de réactions ou de données fournies, une situation de régiosélectivité ou de chimiosélectivité. Proposer une méthode spectroscopique (UV-visible, infrarouge ou RMN <sup>1</sup> H) pour suivre l'évolution d'une transformation chimique ou mettre en évidence une éventuelle sélectivité.
<b>... au microscopique</b> Nucléophile, électrophile. Espèces chimiques classiquement utilisées comme électrophiles : halogénoalcanes, aldéhydes, cétones, esters, carbocations. Espèces chimiques classiquement utilisées comme nucléophiles : organomagnésiens mixtes, amines, eau, ions hydroxyde, cyanure, hydruure, alcoolate, carbanions.	Prévoir les sites potentiellement électrophiles et/ou nucléophiles d'une entité chimique à partir de son schéma de Lewis et éventuellement l'écriture de formules mésomères.
Symbolisme de la flèche courbe.	Compléter un mécanisme réactionnel fourni avec des flèches courbes. Identifier le rôle de nucléophile ou d'électrophile joué par une entité chimique dans un acte élémentaire.

### C.5.2 Exemples de réactions usuelles en synthèse organique

L'approche mécanistique est ici privilégiée à l'approche fonctionnelle pour favoriser le raisonnement et la transférabilité dans des situations analogues et pour commencer à engager la réflexion sur les stratégies de synthèse. Les seules transformations et les seuls mécanismes réactionnels exigibles sont indiqués dans la colonne de gauche. Pour ces transformations, il est attendu des étudiants qu'ils soient en mesure de proposer la structure du(des) produit(s) attendu(s) à partir de réactifs fournis, et inversement, de proposer des réactifs permettant d'obtenir un produit fourni, et qu'ils en écrivent le mécanisme réactionnel en autonomie. L'utilisation d'une banque de réactions permet d'enrichir les activités proposées en procédant

par analogie de propriétés et d'utiliser des activations de groupes caractéristiques, sans justifier théoriquement l'augmentation de la réactivité constatée.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Addition électrophile sur une double liaison C=C</b>            Conversion d'un dérivé éthylénique en halogénoalcane (hydrohalogénéation par voie ionique) ou en alcool (hydratation), mécanisme, régiosélectivité.            Stabilisation d'un carbocation par effets électroniques.</p>	<p>Expliciter la réactivité des dérivés éthyléniques.            Tracer le profil énergétique de l'hydrohalogénéation pour identifier l'étape cinétiquement déterminante et proposer une loi de vitesse.            Comparer la stabilité de deux carbocations.            Prévoir ou justifier la régiosélectivité de l'addition électrophile sur un dérivé éthylénique.</p>
<p><b>Substitution nucléophile aliphatique</b>            Mécanismes limites S<sub>N</sub>1 et S<sub>N</sub>2.            Lois de vitesses associées.            Application à la conversion d'halogénoalcane.</p>	<p>Justifier des différences de réactivité en termes de polarisabilité.            Justifier le choix d'un mécanisme limite, S<sub>N</sub>1 ou S<sub>N</sub>2, par des arguments structuraux ou à partir d'informations cinétiques.            Utiliser une banque de réactions pour proposer une modification de groupe partant dans le but d'en améliorer l'aptitude nucléofuge.</p>
<p><b>Addition nucléophile</b>            Organomagnésiens mixtes : préparation à partir des halogénoalcane, inversion de polarité par insertion d'un atome de magnésium, intérêt d'un carbone nucléophile pour l'allongement de la chaîne carbonée.            Allongement de chaîne carbonée : action des ions cyanures sur les espèces carbonylées, d'organomagnésien mixte sur les aldéhydes, les cétones et le dioxyde de carbone, mécanismes simplifiés.            Modification de groupes caractéristiques : action d'hydrure sur les espèces carbonylées, mécanisme simplifié faisant intervenir un ion hydrure.</p>	<p>Relier le caractère nucléophile d'un organomagnésien mixte à sa structure.            Justifier le choix d'un solvant d'une synthèse d'organomagnésien mixte.            Proposer une méthode pour allonger une chaîne carbonée.</p>
<p><b>Addition nucléophile suivie d'élimination</b>            Conversion d'un acide carboxylique en chlorure d'acyle.            Formation d'ester et d'amide à partir de chlorure d'acyle, mécanismes.            Hydrolyse basique d'ester, mécanisme.            Addition d'organomagnésien mixte et d'hydrure sur un ester, mécanismes simplifiés.</p>	<p>Modéliser la transformation d'un acide carboxylique en chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle.            Utiliser un diagramme de prédominance pour justifier l'obtention d'un ion carboxylate par hydrolyse basique.            Valider la chimiosélectivité d'une transformation à partir de données expérimentales ou spectroscopiques.</p>
	<p><b>Mettre en œuvre la synthèse, la purification et la caractérisation d'une espèce organique.</b></p>

### C.5.3 Initiation à la stéréochimie dynamique des réactions

L'objectif de cette partie est de réinvestir les notions de stéréochimie abordées au premier semestre en introduisant une réflexion sur les aspects tridimensionnels des transformations organiques. Cette réflexion sera limitée aux réactions précédemment étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Activité optique.            Loi de Biot, mélange racémique.            Stéréosélectivité, stéréospécificité.            Caractéristiques stéréochimiques des réactions d'addition et de substitution.</p>	<p>Relier la valeur du pouvoir rotatoire à la composition d'un mélange de stéréoisomères.  <b>Déterminer la composition d'un système chimique ou suivre une transformation chimique à partir de mesures d'activité optique.</b>            Justifier la cohérence d'un mécanisme réactionnel à l'échelle microscopique, avec des données stéréochimiques obtenues à l'échelle macroscopique.            Représenter les stéréoisomères attendus lors d'une transformation.</p>

## Thème S – ondes et signaux

### S.3 Dynamique d'un circuit électrique du premier ordre

L'étude des circuits électriques linéaires du premier ordre en régime transitoire fait suite à l'étude des circuits en régime stationnaire, conduite au premier semestre. Le modèle du condensateur idéal y occupe une place privilégiée en raison, notamment, de ses applications nombreuses et variées dans l'environnement quotidien (capteurs capacitifs par exemple). L'objectif de cette partie est de donner une première introduction à la réponse indicielle d'un système linéaire du premier ordre, et de comprendre les principes et les méthodes mises en œuvre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Système à comportement capacitif : modèle du condensateur idéal. Relation entre charge et tension électriques, entre intensité du courant électrique et tension électrique; capacité d'un condensateur. Continuité de la tension électrique aux bornes d'un condensateur. Énergie stockée dans un condensateur.	Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur plan.  Exploiter la condition de continuité de la tension électrique aux bornes d'un condensateur pour déterminer les conditions initiales dans un circuit.
Modèle du circuit $RC$ série alimenté par une source idéale de tension.	Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.
Charge d'un condensateur par une source de tension constante, décharge d'un condensateur, temps caractéristique.	Établir l'expression, en fonction du temps, de la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge et de sa décharge. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire. <b>Réaliser l'acquisition d'un signal électrique caractéristique d'un système du premier ordre et en étudier les caractéristiques.</b>
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser un bilan énergétique pour le circuit $RC$ série.

## Thème E – énergie : conversions et transferts

### E.3 Formulation et application des principes de la thermodynamique à l'étude des machines thermiques

L'objectif de cette partie est de mettre en œuvre le premier principe de la thermodynamique, vu au premier semestre, et le second principe de la thermodynamique, énoncé sous la forme de l'inégalité de Clausius, admise à ce stade, pour l'étude de machines thermiques. L'accent doit être mis sur la modélisation du fonctionnement d'une machine réelle par un cycle thermodynamique pertinent faisant apparaître des transformations modèles, tout en s'appuyant sur des situations concrètes et motivantes. L'établissement de l'expression du premier principe de la thermodynamique adaptée à l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire donne l'occasion de consolider les compétences relatives à la formulation du bilan d'une grandeur extensive. Les étudiants doivent avoir compris pourquoi apparaît la fonction enthalpie. Des exemples en lien avec les sciences de la vie et de la Terre (cycle respiratoire, thermodynamique de l'atmosphère par exemple) peuvent être introduits à la discrétion du professeur. L'utilisation du diagramme  $(P, h)$  d'un fluide réel permet d'étudier des situations concrètes, de se libérer de calculs excessifs et de s'interroger sur les limites de validité des modèles usuels de fluides. Les diagrammes  $(T, s)$  sont explicitement hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Application du premier principe de la thermodynamique et de l'inégalité de Clausius aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, limitations.	Décrire 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. Citer quelques ordres de grandeur des rendements ou efficacités des machines thermiques réelles actuelles. Expliquer le principe de la cogénération.
Premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire dans un système muni d'une seule entrée et d'une seule sortie.	Démontrer et utiliser le premier principe de la thermodynamique pour l'écoulement d'un fluide en régime stationnaire, en termes de grandeurs massiques ou en termes de puissances, notamment pour l'étude d'un détendeur, d'un compresseur, d'une turbine, d'un échangeur thermique.
Diagramme $(P, h)$ de fluides réels.	Exploiter un diagramme donnant la pression $P$ (ou $\log P$ ) en fonction de l'enthalpie massique $h$ d'un fluide réel pour l'étude de machines thermodynamiques réelles.

## E.4 Statique des fluides

La partie « E.4 Statique des fluides » s'organise en deux sous-parties. L'établissement de la relation fondamentale de la statique des fluides donne l'occasion de mettre en œuvre un raisonnement à l'échelle locale de la particule de fluide. Il convient d'insister sur 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. La notion de gradient d'un champ scalaire est hors programme.

L'étude de la stratification verticale de l'atmosphère et des océans terrestres peut être conduite en lien avec les sciences de la vie et de la Terre. L'analyse de la stabilité d'un fluide stratifié dans le champ de pesanteur repose sur la notion de flottabilité d'une particule de fluide. La recherche des conditions de stabilité vis-à-vis des mouvements verticaux de convection développée à la fin de cette partie, se veut plus transversale et donne ainsi l'occasion de réinvestir des notions vues dans d'autres parties du programme (modèle de l'oscillateur harmonique, force de frottement visqueux, transferts thermiques conductifs notamment). La comparaison des temps caractéristiques des phénomènes physiques favorables ou défavorables aux mouvements de convection peut être conduite à l'aide de nombres adimensionnés, sans que, pour autant, leur définition, leur dénomination ou encore leur expression ne soient exigibles.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Pression dans un fluide au repos</b> Forces volumiques, forces surfaciques. Résultante de forces de pression sur une surface.	Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Déterminer l'expression ou la valeur de la résultante des forces de pression sur une surface plane.
Statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.	Établir la relation $\frac{dP}{dz} = \pm \rho g$ .
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède et démontrer son expression.
<b>Équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre</b> Modèle de l'atmosphère isotherme. Échelle de hauteur caractéristique de variation de la pression.	Établir l'expression de la pression en fonction de l'altitude dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait. Citer la valeur de la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.
Stratification verticale des océans.	Établir l'expression de la pression avec la profondeur dans le cas d'un fluide incompressible.

Flottabilité.	<p>Interpréter la flottabilité d'une particule de fluide à l'aide des projections verticales du poids et de la poussée d'Archimède.</p> <p>Identifier quelques phénomènes physiques favorables ou défavorables aux mouvements verticaux de convection dans l'atmosphère ou les océans terrestres.</p> <p>Construire, par analyse dimensionnelle, les temps caractéristiques associés à ces phénomènes et les comparer.</p>
---------------	--

## Thème T – phénomènes de transport

### T.1 Transport de matière diffusif

Cette partie introduit le transport de matière diffusif sans formalisme vectoriel : le vecteur densité de courant de particules est explicitement hors programme. La loi phénoménologique de Fick est énoncée sous forme intégrale : l'expression du flux de particules est donnée en fonction de la dérivée de la densité volumique de particules par rapport à une seule coordonnée spatiale et d'une surface adaptée à la géométrie considérée. On insistera sur le rôle fondamental de l'agitation thermique dans le processus de diffusion. La formulation correcte d'un bilan de particules à l'échelle globale d'un système, en distinguant les échanges de particules à travers sa frontière de la production ou consommation de particules en son sein, est un des objectifs de formation visés. Pour autant, afin d'éviter toute dérive calculatoire, toute situation où la densité volumique de particules dépend du temps est exclue, à l'exception du régime quasi-stationnaire. Les régimes variables dans le temps sont seulement approchés de façon qualitative grâce à la loi d'échelle donnant le temps caractéristique de diffusion en fonction de l'extension spatiale et du coefficient de diffusion, introduite à partir d'une analyse dimensionnelle du coefficient de diffusion. Enfin, l'étude du transport de matière diffusif peut s'appuyer sur des situations concrètes et motivantes pour les étudiants (sédimentation, mûrissement des émulsions, membranes biologiques, etc.).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Modèle phénoménologique de transport de matière</b> Flux convectif et flux diffusif de particules.	Distinguer un transport de matière diffusif d'un transport convectif.
Loi phénoménologique de Fick donnant le flux diffusif en fonction de la dérivée de la densité volumique de particules par rapport à une seule coordonnée spatiale, à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie considérée.	Discuter des dépendances du flux de particules à travers une membrane en fonction de ses paramètres géométriques (épaisseur et surface de la membrane) et physiques (nature du milieu) en lien avec des applications biologiques.
Coefficient de diffusion.	Citer l'ordre de grandeur du coefficient de diffusion dans un gaz ou d'une espèce dissoute en solution aqueuse dans les conditions usuelles.
Loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusion.	Exploiter la loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusion.
Bilan de particules en régime stationnaire ou quasi-stationnaire.	Établir un bilan de particules, éventuellement en présence de sources internes. Exploiter la conservation du flux de particules en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.

## Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous 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 cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

### 1) Au laboratoire de physique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux basse fréquence
- Multimètre numérique
- Microcontrôleur
- Dynamomètre
- Accéléromètre
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre ou thermocouple
- Calorimètre

### 2) Au laboratoire de chimie

- Verrerie usuelle de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Verrerie usuelle de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision

## Annexe 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 l'année de BCPST1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin d'année. Il est complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>Équations algébriques</b>	
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 analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$ .

Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ . Interpréter graphiquement la ou les solutions.
<b>Équations différentielles</b>	
Équations différentielles à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre une équation différentielle du premier ou du second ordre sous forme canonique.
Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants de la forme : $y' + ay = b$ .	Trouver la solution de l'équation sans second membre (équation homogène). Déterminer une solution particulière de l'équation compte tenu du second membre. Trouver la solution de l'équation correspondant à des conditions initiales données.
Équation différentielle linéaire du deuxième ordre à coefficients constants avec second membre constant de la forme : $y'' + ay = b$ .	Prévoir le caractère borné ou non des solutions (critère de stabilité). Établir l'expression de la solution de l'équation correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement la solution.
Autres équations différentielles du premier ordre.	Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et la représentation graphique de la solution correspondante.
<b>Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ( $x \mapsto x^\alpha$ ).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$ .	
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 $(1+x)^\alpha$ , $\exp(x)$ , $\ln(1+x)$ au voisinage de $x = 0$ et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$ au voisinage de $x = 0$ .
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.	Déterminer un comportement asymptotique; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
<b>Géométrie</b>	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser le système des coordonnées cartésiennes.
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.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer 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.

<b>Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
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 $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$ , parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus; utiliser un formulaire dans les autres cas.

### Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiants vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est, par ailleurs, toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que les capacités exigibles à la fin de l'année en BCPST1. Ces capacités sont consolidées en seconde année pour atteindre une pleine maîtrise en fin de formation. La documentation des bibliothèques mentionnées ci-après est systématiquement fournie aux étudiants.

Outils numériques	Capacités exigibles
<b>Outils graphiques</b>	
Représentation graphique d'un nuage de points	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
<b>Équations algébriques</b>	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Utiliser la fonction <code>bisect</code> de la bibliothèque <code>scipy.optimize</code> (sa spécification étant fournie).
<b>Équations différentielles</b>	
Équations différentielles du premier ordre.	Écrire un programme mettant en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles du second ordre.	Transformer une équation différentielle d'ordre 2 en un système différentiel de deux équations d'ordre 1. Utiliser la fonction <code>odeint</code> de la bibliothèque <code>scipy.integrate</code> (sa spécification étant fournie).
<b>Statistiques</b>	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données.



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Programme de physique-chimie de la classe de BCPST 2<sup>nd</sup>e année**

## Préambule

### Objectifs de formation

Le programme de physique-chimie de la classe de BCPST2 s'inscrit dans la continuité de celui de la première année. Conçu comme un socle cohérent et ambitieux de connaissances et de capacités scientifiques, il prépare les étudiants à la poursuite de leur formation dans un cursus d'ingénieur, de vétérinaire, de chercheur ou d'enseignant. Il s'agit de renforcer les compétences de chaque étudiant, déjà travaillées en première année de BCPST1 et dans le cycle terminal de la voie générale du lycée, inhérentes à la pratique de la démarche scientifique : observer et s'approprier, analyser et modéliser, réaliser et valider, et enfin communiquer et valoriser ses résultats.

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 qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles et des théories. 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 exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

Enfin, l'autonomie et la prise d'initiative sont spécifiquement développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes » qui visent à exercer les étudiants à mobiliser des connaissances et des capacités pour répondre à un questionnement ou atteindre un but sans qu'aucune démarche de résolution ne soit fournie.

### Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

Dans la première partie, intitulée « **Formation expérimentale** », sont décrits les objectifs de formation sur le thème « Mesures et incertitudes » ainsi que les méthodes et les capacités expérimentales que les étudiants doivent maîtriser en fin de formation. Leur mise en œuvre s'appuie sur des problématiques concrètes qui mobilisent aussi les capacités expérimentales spécifiques, également exigibles, identifiées en gras dans la seconde partie du programme intitulée « **Contenus thématiques** ». La formation expérimentale doit reposer sur un apprentissage progressif et structuré de l'ensemble des capacités attendues, tout au long des deux années de classe préparatoire BCPST.

La seconde partie, intitulée « **Contenus thématiques** » est articulée autour de cinq thèmes : « **thème C – constitution et transformations de la matière** », « **thème E – énergie : conversions et transferts** », « **thème M – mouvements et interactions** », « **thème S – ondes et signaux** » et « **thème T – phénomènes de transport** ». La présentation en deux colonnes « notions et contenus » et, en regard, « capacités exigibles » met en valeur les éléments clefs constituant le socle de connaissances et de capacités dont l'assimilation par tous les étudiants est requise. Certains items de cette seconde partie, identifiés en caractères gras dans la colonne « capacités exigibles », se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés en priorité lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant doivent être privilégiées. La présence de capacités numériques explicitées atteste par ailleurs de la volonté de renforcer ce volet de la formation des étudiants ; l'annexe dédiée à cette composante en précise les objectifs et les attendus en termes de contenus comme de capacités exigibles. Des thèmes d'étude communs avec les sciences de la vie et de la Terre sont identifiés et peuvent se prêter à une approche pédagogique concertée entre les deux enseignements, porteuse de sens et qui, par des éclairages complémentaires, ne peut que renforcer l'assimilation de ces connaissances par les étudiants.

Trois annexes sont consacrées d'une part au matériel nécessaire à la mise en œuvre des programmes, d'autre part aux outils mathématiques et aux outils numériques que les étudiants doivent savoir mobiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en BCPST. Ces annexes reprennent le contenu des annexes correspondantes du programme de physique-chimie de BCPST1 et viennent le compléter.

Ce programme précise les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il n'impose en aucun cas une progression particulière ; celle-ci relève de la liberté pédagogique du professeur. La numérotation des différentes parties prolonge celle du programme de physique-chimie de BCPST1.

## Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'ensemble des activités proposées en classe préparatoire aux grandes écoles – activités expérimentales, résolutions de problèmes, TIPE, etc. – permet de travailler les compétences de la démarche scientifique qui figurent dans le tableau ci-dessous. Chaque compétence est illustrée par un ensemble de capacités associées qui permettent d'en préciser le contour sans pour autant constituer une liste exhaustive. Certaines peuvent parfois relever de plusieurs compétences. Dans leur grande majorité, elles sont communes à celles qui sont mises en œuvre dans d'autres enseignements scientifiques comme les sciences de la vie et de la Terre. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité.

Les différentes compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

Compétences	Exemples de capacités associées
<b>S'approprier et problématiser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Rechercher, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée.</li><li>— Conduire l'observation d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles.</li><li>— Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, ...)</li><li>— Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal).</li><li>— Représenter la situation par un schéma modèle.</li><li>— Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole.</li><li>— Relier le problème à une situation modèle connue.</li><li>— Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.</li></ul>
<b>Analyser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Formuler des hypothèses.</li><li>— Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples.</li><li>— Proposer une stratégie pour répondre à une problématique.</li><li>— Choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques.</li><li>— Estimer des ordres de grandeur.</li><li>— Proposer des analogies.</li><li>— Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations.</li><li>— Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de plusieurs documents.</li></ul>
<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle.</li><li>— Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photographie.</li><li>— Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure.</li><li>— Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant des règles de sécurité.</li><li>— Construire des représentations graphiques à partir de données.</li><li>— Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques.</li><li>— Conduire une analyse dimensionnelle.</li></ul>

<b>Valider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes.</li> <li>— Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances.</li> <li>— Discuter de la recevabilité d'une hypothèse, d'une information.</li> <li>— Analyser les résultats de manière critique.</li> <li>— Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...).</li> <li>— Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>
<b>Communiquer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée et cohérente.</li> <li>◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation.</li> <li>◦ appuyer son propos sur des supports appropriés.</li> <li>◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.).</li> <li>◦ citer l'origine des sources utilisées.</li> </ul> </li> <li>— Écouter, confronter son point de vue.</li> </ul>

Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur **autonomie**, leur **esprit d'initiative** et leur **esprit critique**. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la poursuite d'études scientifiques, à l'histoire de l'évolution des idées, des modèles et des théories en physique-chimie, des questions liées à la recherche scientifique actuelle, des enjeux de citoyenneté comme l'engagement, la responsabilité individuelle et collective, la sécurité pour soi et autrui, ou des enjeux environnementaux et climatiques, en particulier le réchauffement climatique, notamment par application des principes du développement durable.

### Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la liberté pédagogique, le professeur organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- privilégier la mise en activité des étudiants en évitant tout 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 favoriser la réflexion, le raisonnement, la participation et l'autonomie des étudiants. L'investigation expérimentale et la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité ;
- recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, en particulier biologiques ou géologiques, de procédés industriels ou d'objets technologiques. Le recours à des **approches documentaires** est un moyen pertinent pour diversifier les supports d'accès à l'information scientifique et technologique et ainsi former l'étudiant à mieux en appréhender la complexité. Lorsque le thème traité s'y prête, l'enseignant peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, avec des questions d'actualité ou des débats d'idées ;
- contribuer à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie est articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines scientifiques, sciences de la vie et de la Terre, mathématiques et informatique.

Concernant l'évaluation, qui vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants, le professeur veillera soigneusement à identifier les compétences et les capacités mobilisées dans les activités proposées afin d'en élargir le plus possible le spectre.

Enfin, le professeur veille aussi à développer chez les étudiants des compétences transversales et préprofessionnelles relatives aux capacités suivantes :

- identifier les différents champs professionnels et les parcours pour y accéder ;
- caractériser et valoriser ses compétences scientifiques et techniques en lien avec son projet de poursuite d'études ou professionnel.

## Première partie

# Formation expérimentale

Cette partie est spécifiquement dédiée à la mise en œuvre de la formation expérimentale des étudiants.

Dans un premier temps, elle précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la **mesure** et de l'évaluation des **incertitudes**. Elle présente ensuite de façon détaillée l'ensemble des **capacités expérimentales** qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur formation pendant les deux années de classe préparatoire BCPST. Enfin, elle aborde la question de la prévention du risque au laboratoire de physique-chimie.

Une liste de matériel, que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice succincte, figure dans une annexe du présent programme.

## 1 Mesures et incertitudes

Certaines notions et capacités rappelées ci-dessous sont abordées dès la première année en BCPST1. Elles sont consolidées en seconde année; leur pleine maîtrise est donc un objectif de fin de seconde année.

Des capacités de mise en œuvre d'une régression linéaire sont introduites spécifiquement en seconde année dans le même esprit que celui qui guide l'introduction du thème de la mesure et des incertitudes en première année. Une attention particulière est portée sur l'analyse des résultats d'une régression linéaire qui ne saurait s'appuyer sur la seule exploitation du coefficient de corrélation ( $R^2$ ). Le recours à la simulation vise à illustrer, sur la base de mesures expérimentales, l'incidence de la variabilité de la mesure d'une grandeur physique sur un ajustement de données expérimentales par régression linéaire.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Incertitude. Incertitude-type.	Identifier les incertitudes liées, par exemple, à l'opérateur, à l'environnement, aux instruments ou à la méthode de mesure. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Associer un intervalle de confiance à l'écart-type dans l'hypothèse d'une distribution suivant la loi normale.
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une relation fournie, l'incertitude-type d'une grandeur qui s'exprime en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, par une relation du type somme, différence, produit ou quotient. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <b>Capacité numérique :</b> simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire – simulation de Monte-Carlo – permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation de Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

## 2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent avoir acquises en fin de formation. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de physique-chimie de BCPST1, où sont explicitées des capacités qui restent au programme de la seconde année de classe préparatoire BCPST.

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. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

### 2.1 Mesures de grandeurs physiques

Les activités expérimentales doivent développer, tout au long de la formation des étudiants, la capacité à mettre en œuvre un dispositif de mesure d'une grandeur physique, à choisir le matériel adapté et à l'utiliser de façon autonome, éventuellement à l'aide d'une notice succincte.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Grandeurs physiques diverses</b> Acquisition et analyse d'une image numérique.	Acquérir (webcam, appareil photo numérique,...) l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.
Mesure de longueur à partir d'une photo ou d'une vidéo.	Évaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
Mesure de volume, masse, pH, conductance et conductivité, pouvoir rotatoire, indice de réfraction, absorbance et transmittance.	Sélectionner et utiliser le matériel adapté à la précision requise. Distinguer les instruments de verrerie In et Ex. Préparer une solution de concentration en masse ou en quantité de matière donnée à partir d'un solide, d'un liquide, d'une solution de composition connue avec le matériel approprié. Utiliser les méthodes et le matériel adéquats pour transférer l'intégralité du solide ou du liquide pesé. Utiliser un appareil de mesure spécifique en s'aidant d'une notice. Étalonner une chaîne de mesure si nécessaire.
<b>Mesures de durées et de fréquences</b> Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition. Décalage temporel/différence de phase à l'aide d'un oscilloscope numérique.	Mettre en œuvre une méthode directe de mesure de fréquence ou de période. Reconnaître une avance ou un retard de phase. Convertir un décalage temporel en une différence de phase et inversement. Repérer précisément une différence de phase nulle ou égale à $\pi$ en mode XY.
<b>Mesures électriques</b> Mesure d'une tension : — mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesure de l'intensité d'un courant : — mesure directe à l'ampèremètre numérique ; — mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance ou d'une capacité : — mesure directe à l'ohmmètre/capacimètre ; — mesure indirecte d'une résistance à l'oscilloscope ou au voltmètre sur un diviseur de tension.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : — choisir une résolution, un calibre et un nombre de points adaptés à la mesure ; — préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur un 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, etc.) ; — gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
Caractérisation d'un dipôle quelconque.	Visualiser la caractéristique d'un dipôle à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.

Production d'un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.	Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.
<b>Mécanique</b> Visualisation et décomposition d'un mouvement.	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.
Mesure d'une accélération.	Mettre en œuvre un accéléromètre, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur.
Mesure d'une action mécanique.	Utiliser un dynamomètre.
<b>Thermodynamique</b> Mesure d'une pression.	Mettre en œuvre un capteur de pression, en identifiant son caractère différentiel ou absolu.
Repérage d'une température.	Mettre en œuvre un capteur de température, par exemple avec l'aide d'un microcontrôleur. Mettre en œuvre un capteur infrarouge. Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.
Bilans d'énergie.	Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

## 2.2 Synthèses chimiques

La pleine maîtrise des différentes techniques mises en œuvre dans les synthèses chimiques, qui sont présentées ci-après, et les fondements théoriques de ces techniques en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées, sont exigibles des étudiants en fin de formation. Pour ce faire, les étudiants sont progressivement invités à proposer des stratégies de transformation des réactifs, de séparation et de purification des produits synthétisés.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Transformation chimique</b>	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel. Suivi de l'évolution de la transformation.	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. 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. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
<b>Séparation et purification</b>	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase. Utiliser un montage de distillation hétéroazéotropique.
Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide.	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, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	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.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

### 2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

La maîtrise de différentes techniques expérimentales mises en œuvre lors des analyses qualitatives et quantitatives destinées à caractériser une espèce chimique, à en estimer la pureté ou à la doser, est elle aussi développée tout au long de la formation. La mobilisation récurrente des capacités présentées amène progressivement les étudiants à prendre les initiatives adaptées pour proposer, de façon autonome, un protocole de mesures de concentrations ou de quantités de matière, ou une méthode de caractérisation d'une espèce chimique tenant compte des propriétés physico-chimiques du système étudié.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté</b>	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Interpréter l'ordre d'éluion des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Repérer une température de fusion. Mesure un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
<b>Dosages par étalonnage</b>	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
<b>Dosages par titrage</b> 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.	Identifier et exploiter la réaction support 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. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.

Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	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.
<b>Suivi cinétique de transformations chimiques</b> Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. 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.

### 3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, 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
<b>Prévention des risques au laboratoire</b> Règles de sécurité au laboratoire.	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Risque électrique.	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
Risque optique.	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
Risques liés à la pression et à la température.	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
<b>Prévention de l'impact environnemental</b> 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.

## Deuxième partie

# Contenus thématiques

<b>Thème E – énergie : conversions et transferts</b>	9
E.5 Second principe de la thermodynamique . . . . .	9
E.6 Description des systèmes fermés de composition variable . . . . .	9
E.7 Application des principes de la thermodynamique à l'étude des transformations physico-chimiques . . . . .	10
E.8 Changement d'état solide-liquide d'un mélange binaire . . . . .	11
<b>Thème C – constitution et transformations de la matière</b>	11
C.6 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système . . . . .	11
C.7 Transformations de la matière en solution aqueuse . . . . .	12
C.8 Transformations de la matière en chimie organique . . . . .	14
<b>Thème M – mouvements et interactions</b>	16
M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel . . . . .	16
M.4 Oscillateurs mécaniques . . . . .	17
M.5 Phénomènes de tension superficielle . . . . .	18
M.6 Fluides en écoulement . . . . .	19
<b>Thème S – ondes et signaux</b>	20
S.4 Filtrage linéaire d'un signal . . . . .	20
S.5 Interaction lumière-matière . . . . .	21
<b>Thème T – phénomènes de transport</b>	21
T.2 Conduction thermique . . . . .	21

## Thème E – énergie : conversions et transferts

### E.5 Second principe de la thermodynamique

L'étude du second principe de la thermodynamique s'inscrit dans la continuité du programme de thermodynamique de première année. La fonction d'état entropie est systématiquement donnée et sa construction n'est pas une capacité visée. On cite, sans développement quantitatif, son interprétation en termes de désordre statistique, c'est-à-dire de perte d'information sur la connaissance de l'état microscopique d'un système, de façon à faciliter une interprétation intuitive des bilans d'entropie. Le professeur peut profiter de cette partie pour donner une assise à l'inégalité de Clausius, admise en première année. Les diagrammes  $(T, s)$  sont explicitement hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Fonction d'état entropie; entropie massique et entropie molaire.	Interpréter qualitativement une augmentation de l'entropie d'un système isolé comme une perte d'information sur la connaissance de l'état du système à l'échelle microscopique.
Entropie d'un gaz parfait, d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Exploiter l'expression fournie de la variation d'entropie entre deux états d'équilibre thermodynamique d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible.
Second principe de la thermodynamique pour un système fermé. Entropie échangée, entropie créée, bilan d'entropie.	Formuler un bilan d'entropie sous forme infinitésimale ou intégrale. Associer la création d'entropie au caractère réversible ou irréversible de la transformation.

### E.6 Description des systèmes fermés de composition variable

Le critère d'évolution spontanée d'un système physico-chimique, admis en première année, est démontré à partir du second principe de la thermodynamique. On adopte, pour les potentiels chimiques, l'expression générale suivante :

$$\mu_i(T, P, \text{composition}) = \mu_i^{\text{réf}}(T, P) + RT \ln(a_i)$$

qui fait référence aux activités  $a_i$  introduites en première année. L'établissement de cette relation est strictement hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Enthalpie libre.  Identité thermodynamique pour la fonction d'état $G$ . Potentiel chimique.	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 d'équilibre pour une transformation à $T$ et $P$ constantes en termes d'enthalpie libre. Relier les grandeurs $V$ , $S$ et $\mu$ aux dérivées partielles de $G(T, P, n)$ .
Condition d'équilibre thermodynamique d'un corps pur sous deux phases.	Utiliser le potentiel chimique pour prévoir l'évolution d'un système contenant un corps pur sous deux phases. Traduire la condition d'équilibre par une égalité de potentiels chimiques.
Identité d'Euler.	Exprimer l'enthalpie libre d'un système physico-chimique en fonction des potentiels chimiques.
Activité d'un constituant et potentiel chimique dans les cas modèles : — des gaz parfaits : $\mu_i(T, P_i) = \mu_i^o(T) + RT \ln\left(\frac{P_i}{p^o}\right)$ ; — des constituants en mélange idéal en phase condensée : $\mu_i(T, P, x_i) = \mu_i^{\text{réf}}(T, P) + RT \ln(x_i)$ ; — des solutés infiniment dilués : $\mu_i(T, P, c_i) = \mu_i^{\text{réf}}(T, P) + RT \ln\left(\frac{c_i}{c^o}\right)$ pour les solutés et $\mu_i(T, P) = \mu_i^{\text{réf}}(T, P)$ pour le solvant.	Exprimer l'activité d'un constituant dans un mélange idéal et dans une solution infiniment diluée. Exprimer et utiliser le potentiel chimique d'un constituant dans un mélange idéal et dans une solution diluée. Déterminer la variation d'enthalpie libre d'un système physico-chimique entre deux états d'équilibre thermodynamique. Interpréter un transport de matière à l'aide du potentiel chimique (partage entre deux solvants, diffusion membranaire, etc.).
Influence de la pression sur $\mu_i^{\text{réf}}$ pour des constituants en phase condensée. Osmose, pression osmotique, loi de van't Hoff.	Interpréter qualitativement le sens de transfert du solvant dans un processus osmotique en termes de potentiel chimique, la relation donnant la variation du potentiel chimique en fonction de la différence de pression étant fournie. Exploiter la loi de van't Hoff, son expression étant fournie.

## E.7 Application des principes de la thermodynamique à l'étude des transformations physico-chimiques

Dans cette partie, seules des transformations physico-chimiques monobares sont envisagées. Pour le calcul des grandeurs standard de réaction, on se limite strictement au cas où les enthalpies et entropies standard de réaction sont supposées indépendantes de la température (approximation d'Ellingham). Les grandeurs standard de réaction permettent la détermination de la constante thermodynamique d'équilibre dont la valeur était simplement admise en première année. 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 l'enthalpie libre de réaction. Enfin, l'étude de la modification d'un paramètre sur l'évolution d'un système chimique et son état d'équilibre permet d'aborder la problématique de l'optimisation d'un procédé chimique ou des perturbations dans les processus biologiques ou géologiques. Aucun calcul différentiel ne pourra être demandé.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Grandeur de réaction. État standard. Enthalpie standard de réaction et entropie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, état standard de référence d'un élément, entropie molaire standard absolue. Loi de Hess.	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.
Effets thermiques en réacteur monobare : — transfert thermique associé à une transformation chimique en réacteur monobare isotherme ; — variation de température en réacteur adiabatique monobare.	Prévoir la température atteinte par un système siège d'une transformation physico-chimique supposée monobare et réalisée dans un réacteur modélisé comme adiabatique.

<p>Enthalpie libre de réaction : expression en fonction des potentiels chimiques.</p> <p>Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique dont l'évolution spontanée est modélisée par une seule réaction à <math>T</math> et <math>P</math> constantes.</p> <p>Enthalpie libre standard de réaction, constante thermodynamique d'équilibre et relation de van't Hoff dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p>	<p>Relier l'enthalpie libre de réaction à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient de réaction.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique.</p> <p>Calculer la constante thermodynamique d'équilibre à partir de grandeurs standard de réaction.</p> <p>Modéliser l'évolution de la constante thermodynamique d'équilibre avec la température dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Identifier, en comparant le quotient de réaction et la constante thermodynamique d'équilibre, si le système se trouve dans une situation d'équilibre chimique ou hors équilibre chimique.</p>
<p>Nombre de degrés de liberté d'un système physico-chimique à l'équilibre ; variance.</p> <p>Perturbation d'un système à l'équilibre chimique.</p>	<p>Reconnaître si une grandeur 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> <p>Comparer le quotient de réaction et la constante thermodynamique d'équilibre pour interpréter l'effet de la variation d'un paramètre d'influence sur un système initialement à l'équilibre chimique.</p>
<b>Déterminer une grandeur standard de réaction.</b>	

## E.8 Changement d'état solide-liquide d'un mélange binaire

L'étude des changements d'état d'un mélange binaire s'effectue à l'aide de diagrammes de phases solide-liquide isobares fournis ou construits à partir des courbes d'analyse thermique. Les expressions théoriques des frontières ne sont pas attendues. Ces diagrammes sont utilisés pour interpréter le processus de cristallisation fractionnée. Cette partie peut être conduite en lien avec l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Caractérisation d'un mélange binaire.</p> <p>Miscibilité totale ou nulle.</p>	<p>Convertir des fractions molaires en fractions massiques dans le cas de systèmes binaires et inversement.</p> <p>Citer les facteurs d'influence de la miscibilité : interactions entre entités chimiques, température.</p>
<p>Diagrammes de phases solide-liquide isobares :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— avec miscibilité totale à l'état solide,</li> <li>— avec miscibilité nulle à l'état solide, avec ou sans composé défini à fusion congruente ; eutectique.</li> </ul> <p>Théorème des moments chimiques.</p> <p>Cristallisation fractionnée.</p>	<p>Exploiter un faisceau de courbes d'analyse thermique pour établir l'allure d'un diagramme de phases solide-liquide isobare.</p> <p>Attribuer les différentes zones du diagramme.</p> <p>Exploiter un diagramme de phases isobare pour décrire l'évolution d'un système lors d'une variation de température.</p> <p>Calculer et commenter la valeur de la variance en un point du diagramme.</p> <p>Décrire les caractéristiques des mélanges indifférents, eutectiques et des composés définis.</p> <p>Déterminer la ou les phases en présence et leur composition en un point donné d'un diagramme de phases solide-liquide isobare.</p> <p>Interpréter une cristallisation fractionnée à l'aide de diagrammes de phases solide-liquide isobares.</p> <p>Effectuer un bilan de matière pour une cristallisation fractionnée.</p>

## Thème C – constitution et transformations de la matière

### C.6 Transformations de la matière : évolution temporelle d'un système

L'étude des mécanismes réactionnels, limitée en première année au cas présentant une étape cinétiquement déterminante et/ou un équilibre préétabli, est poursuivie en deuxième année avec l'approximation de l'état quasi-stationnaire, ce qui permet d'aborder des mécanismes plus complexes, par stades ou en chaîne. L'objectif est d'établir des lois de vitesse à

partir des mécanismes, et de les confronter aux lois expérimentales pour valider ou invalider les mécanismes proposés. D'autres méthodes de validation de mécanismes pourront être présentées aux étudiants. L'usage d'un langage de programmation, pour résoudre des équations différentielles, permet de mettre en évidence les conditions d'application de l'approximation de l'état quasi-stationnaire, et les situations de contrôle thermodynamique ou de contrôle cinétique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Mécanismes par stades. Mécanismes en chaîne : étapes d'initiation, de transfert, maillon de chaîne, étape de rupture de chaîne.	Reconnaître un mécanisme par stades ou un mécanisme en chaîne. Identifier la nature des actes élémentaires dans un mécanisme en chaîne. Associer le maillon de chaîne et l'équation de la réaction modélisée par le mécanisme réactionnel.
Modélisation d'une transformation catalysée : cycle catalytique.	Reconnaître un catalyseur ou un précurseur de catalyseur dans un cycle catalytique fourni. Écrire les équations des actes élémentaires d'un cycle catalytique fourni. Écrire l'équation de la réaction modélisant une transformation catalysée à partir du mécanisme présenté sous forme d'un cycle catalytique.
Modélisation microscopique d'une transformation par deux actes élémentaires successifs.  Traitement cinétique d'un mécanisme : approximation de l'étape cinétiquement déterminante, approximation du pré-équilibre rapide, approximation de l'état quasi-stationnaire.	<b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation, tracer, dans le cas de deux actes élémentaires successifs, l'évolution des concentrations par résolution numérique du système d'équations différentielles et mettre en évidence les conditions d'application de l'approximation de l'état quasi-stationnaire. Reconnaître, à partir d'informations fournies, les conditions d'utilisation de l'approximation de l'étape cinétiquement déterminante, de l'approximation du pré-équilibre rapide et de l'approximation de l'état quasi-stationnaire. Établir une loi de vitesse à partir d'un mécanisme réactionnel et la confronter à la loi de vitesse obtenue expérimentalement. <b>Établir la loi de vitesse d'une réaction pour tester un mécanisme réactionnel.</b>
Sélectivité d'une transformation modélisée par deux réactions : contrôle thermodynamique et contrôle cinétique.	Reconnaître à partir de données expérimentales, les paramètres qui favorisent un contrôle cinétique ou un contrôle thermodynamique. <b>Capacité numérique :</b> établir un système d'équations différentielles et le résoudre numériquement, à l'aide d'un langage de programmation, afin de visualiser l'évolution des concentrations au cours du temps et mettre en évidence les situations de contrôle cinétique ou thermodynamique.

## C.7 Transformations de la matière en solution aqueuse

L'étude des transformations en solution aqueuse a été abordée en première année pour des transformations modélisées par des réactions acide-base et des réactions d'oxydo-réduction. En seconde année, ces modélisations sont enrichies par les réactions de complexation et de précipitation. Ces réactions peuvent être illustrées par des applications en analyse chimique et en traitement des solutions (résines échangeuses d'ions, précipitation sélective, etc.) et par des exemples tirés de la chimie du vivant (respiration, photosynthèse, etc.) et de la géologie (sédimentation, etc.). L'influence de la complexation sur les propriétés oxydantes ou réductrices des espèces chimiques en solution permet d'établir des liens avec les cycles catalytiques rencontrés en sciences de la vie et de la Terre.

Les diagrammes de prédominance et de distribution d'espèces chimiques constituent un outil privilégié pour prévoir et interpréter les réactions mises en jeu; ils sont enrichis, en deuxième année, par les diagrammes d'existence de solides ioniques et les diagrammes potentiel-pH. Aucune capacité relative à la construction des diagrammes potentiel-pH n'est exigible.

Certaines capacités développées lors de l'étude des transformations de la matière en solution aqueuse sont mises en exergue afin de souligner leur caractère transversal.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Transformation chimique en solution aqueuse modélisée par une seule réaction chimique.</p>	<p>Extraire la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre à partir d'un diagramme de prédominance ou d'existence.</p> <p>Extraire les données thermodynamiques pertinentes de tables pour étudier un système en solution aqueuse.</p> <p>Utiliser des diagrammes de prédominance, d'existence ou potentiel-pH pour identifier des espèces incompatibles ou prévoir la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Écrire l'équation de la réaction modélisant une transformation en solution aqueuse et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Déterminer la composition du système dans l'état final pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique, en simplifiant éventuellement les calculs à l'aide d'hypothèses adaptées.</p> <p>Prévoir le sens d'évolution d'un système chimique, initialement à l'équilibre, à la suite d'une perturbation par comparaison du quotient de réaction et de la constante thermodynamique d'équilibre.</p> <p>Confronter les prévisions thermodynamiques à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques ou de modélisation inappropriée.</p>
<p><b>Transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction</b></p> <p>Enthalpie libre standard de réaction et potentiels standard d'oxydo-réduction des couples impliqués.</p>	<p>Déterminer la valeur du potentiel standard d'un couple oxydant-réducteur à partir de données thermodynamiques (constantes thermodynamiques d'équilibre, potentiels standard).</p>
<p><b>Diagrammes potentiel-pH</b></p> <p>Lecture et exploitation des diagrammes potentiel-pH.</p> <p>Diagramme potentiel-pH de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme potentiel-pH fourni à des espèces chimiques données.</p> <p>Prévoir une éventuelle dismutation ou médiatisation en fonction du pH du milieu.</p>
<p><b>Transformations modélisées par des réactions de complexation-décomplexation</b></p> <p>Atome ou ion central, ligand, modélisation de la liaison entité chimique centrale-ligand par recouvrement <math>\sigma</math> entre orbitales, complexe, indice de coordination.</p> <p>Constante de formation globale d'un complexe.</p> <p>Réaction d'échange de ligands : relation entre structure et propriétés du ligand, effet chélate, influence de la proportion relative de ligands.</p> <p>Influence de la complexation sur les propriétés d'oxydo-réduction.</p>	<p>Relier qualitativement la liaison entité chimique centrale-ligand à la notion de recouvrement d'orbitales.</p> <p>Citer des exemples de complexes intervenant dans le domaine des sciences du vivant pour le transport de ligand et l'activation d'un ligand.</p> <p>Justifier par un argument entropique l'origine de l'effet chélate.</p> <p>Identifier, dans un cycle catalytique fourni, les complexes, les modifications ou échanges de ligand et les évolutions du nombre d'oxydation de l'entité chimique centrale.</p> <p>Citer des exemples issus du domaine des sciences du vivant où les propriétés oxydantes ou réductrices d'un centre métallique sont modifiées par son intégration dans un complexe.</p>
<p><b>Transformations modélisées par des réactions de précipitation-solubilisation</b></p>	

<p>Mise en solution d'un solide ionique : produit de solubilité.</p> <p>Condition de précipitation d'un solide ionique : diagramme d'existence.</p> <p>Solubilité et paramètres d'influence de la solubilité : température, effet d'ion commun, pH, complexation.</p>	<p>Citer des exemples de précipités intervenant dans le domaine de la géologie.</p> <p>Prévoir, à partir de données thermodynamiques et de conditions opératoires, l'état de saturation ou de non saturation en solide ionique d'une solution aqueuse.</p> <p>Prévoir qualitativement l'évolution de la solubilité suite à l'introduction d'un ion commun ou d'un ligand.</p> <p>Justifier qualitativement l'allure et exploiter une courbe de solubilité en fonction du pH.</p> <p><b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation, déterminer les conditions optimales pour séparer deux ions par précipitation sélective.</p>
	<p><b>Mettre en œuvre des réactions de complexation, de précipitation, d'oxydo-réduction et acide-base pour effectuer une analyse quantitative ou des traitements d'une solution.</b></p>

## C.8 Transformations de la matière en chimie organique

Cette partie s'inscrit dans la continuité de la partie correspondante du programme de physique-chimie de BCPST1 et poursuit les objectifs suivants :

- s'approprier les stratégies de synthèse organique en complétant l'étude des méthodes de conversion de groupes caractéristiques et de création de liaison carbone-carbone;
- consolider et compléter les connaissances des mécanismes fondamentaux, notamment en présence d'étapes d'activation.

L'approche retenue privilégie donc l'aspect mécanistique et la stratégie de synthèse à l'approche fonctionnelle, mais l'enseignant dispose de sa liberté pédagogique pour construire la progression de son choix. Le cours et les activités s'appuient le plus souvent possible sur des exemples issus de la chimie du vivant, de la chimie fine et de la chimie industrielle, et permettent une sensibilisation aux principes d'une chimie respectueuse de l'environnement.

À travers les capacités et contenus exigibles, sont développées des compétences générales qui pourront par la suite être réinvesties, consolidées et valorisées, parmi lesquelles :

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour choisir un mécanisme réactionnel en synthèse organique;
- 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.

### C.8.1 Notions et capacités transversales développées lors de l'étude des transformations en chimie organique

Dans le prolongement des compétences générales présentées ci-dessus, l'étude des transformations en chimie organique s'appuie sur les notions et capacités transversales suivantes, qui pourront être introduites progressivement en fonction des choix pédagogiques opérés.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Réaction acide-base en chimie organique</b></p> <p>Échelle de <math>pK_a</math> généralisée. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique.</p> <p>Ordre de grandeur des <math>pK_a</math> des couples acido-basiques : acide carboxylique / carboxylate, alkyloxonium / alcool, alcool / alcoolate, phénol / phénolate, ammonium / amine, amine / amidure, carbonyle / énolate.</p>	<p>Choisir une base adaptée à la déprotonation quantitative d'une espèce chimique organique.</p>
<p><b>Utilisation d'une banque de réactions</b></p>	<p>Utiliser une banque de réactions fournie pour compléter une séquence réactionnelle, proposer des conditions expérimentales ou déterminer la structure d'espèces chimiques organiques.</p>
	<p><b>Mettre en œuvre la synthèse, l'isolement, la purification et la caractérisation d'une espèce chimique organique.</b></p>

### C.8.2 Activation de la réactivité

L'étude amorcée en première année est enrichie de mécanismes réactionnels faisant apparaître des étapes d'activation de groupe caractéristique. L'initiation à la stéréochimie dynamique est par ailleurs prolongée.

Les seules transformations et les seuls mécanismes exigibles sont indiqués dans la colonne de gauche. Pour ces transformations, il est attendu des étudiants qu'ils soient en mesure de proposer la structure du(des) produit(s) attendu(s) à partir de réactifs fournis, et inversement, proposer des réactifs permettant d'obtenir un produit fourni, et qu'ils en écrivent le mécanisme réactionnel en autonomie.

#### Activation de l'aptitude nucléofuge

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Substitution nucléophile aliphatique</b> Formation et réactivité d'esters sulfoniques : — conversion d'un alcool en ester sulfonique; — formation de composés par substitution nucléophile sur un ester sulfonique; mécanismes limites.  Conversion d'un alcool en halogénoalcane par action d'une solution concentrée d'halogénure d'hydrogène; mécanismes limites.	Comparer les réactivités des liaisons carbone-oxygène dans le cas des alcools, des esters sulfoniques et des ions alkyloxoniums.  Commenter, dans une synthèse multi-étapes, le choix de l'activation d'un alcool par protonation ou par passage par un ester sulfonique.
<b><math>\beta</math>-élimination</b> Déshydratation acido-catalysée d'un alcool : mécanisme limite E1. Réactions de $\beta$ -élimination sur les halogénoalcane et sur les esters sulfoniques en série acyclique : mécanisme limite E2. Compétition substitution-élimination.	Prévoir ou interpréter la régiosélectivité et la stéréosélectivité d'une $\beta$ -élimination en milieu acide sur un alcool. Prévoir ou interpréter la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la stéréospécificité éventuelle d'une $\beta$ -élimination sur un halogénoalcane ou sur un ester sulfonique. Interpréter la formation de plusieurs produits par la compétition entre les réactions de substitution et d'élimination.

#### Activation du caractère électrophile

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Addition nucléophile</b> Activation électrophile du groupe carbonyle. Acétalisation des aldéhydes et des cétones : conditions expérimentales, mécanisme. Hémiacétalisation acido-catalysée du glucose; glucopyranoses, anomérie, conformations; mutarotation du glucose.	Proposer et justifier les conditions expérimentales permettant la préparation d'un acétal.  Représenter le cyclohexane, un cyclohexane monosubstitué et un glucopyranose dans leur conformation la plus stable. Interpréter la mutarotation du glucose par le caractère réversible de l'hémiacétalisation.
<b>Addition nucléophile suivie d'élimination</b> Synthèse des esters par activation du groupe carboxyle <i>in situ</i> par protonation, mécanisme. Hydratation-hydrolyse acide des nitriles et hydrolyse acide des esters et des amides; mécanismes.	Proposer et justifier les conditions expérimentales permettant la préparation d'un ester ou l'hydrolyse acide d'un ester, d'un amide ou d'un nitrile.

#### Activation du caractère nucléophile

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Substitution nucléophile aliphatique</b> Activation nucléophile des alcools et phénols : formation d'acoolates par réaction acido-basique. Synthèse d'éther-oxydes par la méthode de Williamson; mécanisme.	Proposer une voie de synthèse d'un éther-oxyde dissymétrique. Interpréter la formation de plusieurs produits à partir de résultats expérimentaux fournis.

<p>Formation d'ions énolate : acidité de l'atome d'hydrogène en position <math>\alpha</math> d'un groupe carbonyle. Équilibre céto-énolique.</p> <p>Généralisation aux espèces chimiques possédant un atome d'hydrogène en position <math>\alpha</math> d'un groupe <math>\pi</math>-accepteur.</p> <p>C-alkylation en position <math>\alpha</math> d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite <math>S_N2</math>.</p>	<p>Justifier l'acidité d'un composé énolisable.</p> <p>Justifier une éventuelle exception au caractère généralement déplacé de l'équilibre céto-énolique en faveur de la forme céto.</p> <p>Justifier la restriction de la C-alkylation aux cétones énolisables.</p>
<p><b>Addition nucléophile suivie ou non d'élimination</b></p> <p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique.</p> <p>Aldolisation croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme.</p> <p>Crotonisation : déshydratation de l'aldol (cétol) en présence d'une base, mécanisme limite <math>E1_{CB}</math> ; régiosélectivité.</p> <p>Réaction de Claisen. Mécanisme.</p>	<p>Choisir, dans le cadre d'une stratégie de synthèse, les meilleures conditions de préparation d'un aldol ou d'un cétol issu d'une aldolisation croisée.</p> <p>Justifier la régiosélectivité de la crotonisation en présence d'une base.</p> <p>Choisir une base adaptée à la déprotonation en position <math>\alpha</math> d'une fonction ester lors d'une réaction de Claisen.</p>

### C.8.3 Initiation à la stratégie de synthèse

Cette partie permet d'amener les étudiants à pouvoir proposer une stratégie de synthèse à travers l'analyse de la réactivité des espèces chimiques et à interpréter la nature et l'ordre des étapes mises en œuvre dans le cas d'une synthèse multi-étapes. L'élaboration d'une courte synthèse multi-étapes par les étudiants peut se faire en autonomie à l'aide d'une banque de réactions fournie, à l'aide des réactions exigibles qui figurent au programme des deux années de BCPST ou à partir de raisonnements procédant par analogies de structure et de réactivité. Les étudiants sont amenés à questionner l'impact environnemental de certaines voies de synthèse totale au laboratoire (choix des réactifs, solvants, durée de chauffage).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Protection-déprotection</b></p> <p>Protection-déprotection du groupe carbonyle ou d'un diol par acétalisation ; conditions expérimentales.</p> <p>Protection-déprotection du groupe hydroxyle : synthèse et hydrolyse d'esters, synthèse d'éther-oxydes.</p> <p>Protection-déprotection du groupe amino : synthèse et hydrolyse d'amides.</p>	<p>Justifier la nécessité de protéger un groupe caractéristique dans une synthèse multi-étapes, une banque de réaction étant fournie le cas échéant.</p> <p>Identifier les étapes de protection et de déprotection d'un groupe carbonyle, d'un groupe carboxyle, d'un groupe amino, d'un groupe hydroxyle ou d'un diol dans une synthèse multi-étapes.</p>
<p><b>Synthèse multi-étapes</b></p> <p>Modifications de groupes caractéristiques et de chaînes carbonées.</p> <p>Rendement, optimisation, prise en compte de l'impact environnemental.</p>	<p>Analyser une synthèse multi-étapes fournie en termes de stratégie de synthèse : ordre des étapes, activation, protection de groupes caractéristiques, rendement, sélectivité.</p> <p>Proposer ou justifier, éventuellement en s'appuyant sur une banque de réactions fournie, une méthode de modifications de groupes caractéristiques et de chaînes carbonées adaptée à une synthèse multi-étapes.</p> <p>Concevoir une stratégie de synthèse simple en tenant compte des impacts environnementaux.</p>

## Thème M – mouvements et interactions

### M.3 Approche énergétique du mouvement d'un point matériel

Cette partie vise à construire une démarche alternative et complémentaire de celle vue en première année pour l'étude d'une situation relevant de la mécanique – et plus généralement de la physique – fondée sur la conservation de l'énergie mécanique. Cette approche est l'occasion d'illustrer la capacité prédictive des analyses graphiques et numériques, par exemple pour décrire un comportement à partir d'une représentation graphique de l'énergie potentielle dans le cas d'un mouvement conservatif.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Puissance, travail et énergie cinétique</b> Puissance et travail d'une force.</p> <p>Théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel galiléen, dans le cas d'un système modélisé par un point matériel.</p>	<p>Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Exploiter le théorème de l'énergie cinétique.</p>
<p><b>Champ de force conservative et énergie potentielle</b> Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle dans un cas unidimensionnel.</p>	<p>Exploiter la relation entre la force et la dérivée spatiale de l'énergie potentielle dans un cas unidimensionnel. Citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur dans le cas d'un champ de pesanteur uniforme et de l'énergie potentielle élastique. Associer le sens de la force au sens de variation de l'énergie potentielle.</p>
<p><b>Énergie mécanique</b> Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.</p> <p>Mouvement conservatif à un degré de liberté. Application à la liaison chimique. Cas d'un système soumis à un champ de force uniforme.</p> <p>Positions d'équilibre. Stabilité.</p>	<p>Exploiter la conservation de l'énergie mécanique pour analyser un mouvement.</p> <p>Identifier, sur un graphe d'énergie potentielle, une barrière et un puits d'énergie potentielle. Dédire, d'un graphe d'énergie potentielle, le comportement qualitatif du système : trajectoire bornée ou non, positions accessibles, positions de vitesse nulle. Dédire, d'un graphe d'énergie potentielle, l'existence de positions d'équilibre. Analyser qualitativement la nature stable ou instable de ces positions.</p>

## M.4 Oscillateurs mécaniques

Cette partie est consacrée à l'étude des oscillateurs mécaniques, dans divers régimes d'évolution. On insiste sur la généralité des modèles étudiés afin de les transposer *in fine* dans d'autres contextes physiques que la mécanique. L'ouverture proposée à l'oscillateur harmonique quantique unidimensionnel permet d'illustrer le passage d'un spectre énergétique continu, dans le régime classique, à un spectre énergétique discret dans le régime quantique. Le spectre d'énergie de l'oscillateur harmonique quantique unidimensionnel est admis sans démonstration et permet d'interpréter les niveaux d'énergie vibrationnels d'une molécule.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Oscillateurs libres</b> Modèle de l'oscillateur mécanique harmonique.</p> <p>Mouvements de faible amplitude au voisinage d'une position d'équilibre stable. Approximation locale par un puits d'énergie potentielle harmonique.</p> <p>Oscillateur harmonique quantique unidimensionnel. Application aux niveaux d'énergie vibrationnels d'une molécule.</p>	<p>Établir et exploiter une intégrale première du mouvement. Procéder à un bilan énergétique. Établir l'équation différentielle linéarisée du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre. <b>Capacité numérique :</b> à l'aide d'un langage de programmation, mettre en évidence le non isochronisme des oscillations d'un oscillateur anharmonique.</p> <p>Exploiter la relation fournie <math>E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) h\nu</math>.</p>

Oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	<p>Analyser qualitativement l'évolution temporelle transitoire d'un oscillateur mécanique amorti en fonction de ses paramètres caractéristiques.</p> <p>Écrire sous forme canonique l'équation différentielle du mouvement afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.</p> <p>Discuter qualitativement la nature du mouvement.</p> <p>Résoudre l'équation différentielle du mouvement.</p> <p>Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.</p> <p><b>Mesurer la pulsation propre et le facteur de qualité d'un oscillateur mécanique.</b></p>
<p><b>Oscillateurs forcés</b></p> <p>Oscillateur mécanique soumis à une excitation sinusoïdale. Résonance, bande passante.</p>	<p>Résoudre analytiquement l'équation différentielle du mouvement d'un oscillateur harmonique en régime sinusoïdal forcé et mettre en évidence les insuffisances du modèle.</p> <p>Mettre en évidence les effets du terme d'amortissement sur la réponse d'un oscillateur à partir de résultats expérimentaux ou simulés.</p> <p>Estimer, à partir de résultats expérimentaux ou simulés, la valeur de la pulsation de résonance et l'intervalle de pulsations ou de fréquences correspondant à la bande passante.</p> <p>Relier qualitativement l'acuité de la résonance au facteur de qualité.</p> <p><b>Identifier un phénomène de résonance (oscillateurs mécanique, électrique, acoustique, etc.) et donner les caractéristiques de la résonance (fréquence de résonance, pulsations de coupure ou bande passante).</b></p>
Exemples de réponse en régime sinusoïdal forcé d'un dispositif mécanique du type amortisseur, sismomètre ou accéléromètre.	<p>Analyser, à partir de résultats expérimentaux ou simulés, la réponse en régime sinusoïdal forcé du dispositif mécanique en fonction de la fréquence d'excitation.</p> <p>Discuter des choix des paramètres du dispositif en fonction du cahier des charges.</p>

## M.5 Phénomènes de tension superficielle

L'introduction aux phénomènes de capillarité s'appuie sur une approche énergétique. La loi de Young est admise et son expression est systématiquement fournie aux étudiants. L'expression de la loi de Laplace, donnant la différence de pression en fonction du coefficient de tension superficielle de part et d'autre d'une interface courbe, n'est exigible que dans le cas d'une interface sphérique. Sa démonstration est, dans tous les cas, hors programme. La loi de Jurin donne l'occasion de réinvestir les connaissances acquises en première année en statique des fluides. Une approche énergétique complémentaire permet de souligner les phénomènes physiques sous-jacents, responsables de l'ascension ou de la descente capillaire. Aucune connaissance relative à la force de tension superficielle, pas plus qu'à son expression en fonction du coefficient de tension superficielle, n'est exigible des étudiants.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Coefficient de tension superficielle. Énergie de surface.	<p>Identifier l'origine physique de la tension superficielle dans le cas de l'interface liquide-vapeur et en déduire un ordre de grandeur de la valeur du coefficient de tension superficielle.</p> <p>Exprimer l'énergie de surface associée à une interface entre deux phases fluides non miscibles, ou entre une phase fluide et une phase solide en fonction du coefficient de tension superficielle correspondant.</p> <p>Interpréter qualitativement le rôle d'un tensioactif.</p>

Mouillabilité. Angle de contact, loi de Young. Loi de Laplace exprimant la différence de pression en fonction du coefficient de tension superficielle et du rayon d'une interface sphérique. Loi de Jurin de l'ascension capillaire.	Interpréter qualitativement la mouillabilité d'une surface solide en termes d'énergies de surface. Interpréter le phénomène d'ascension ou de descente capillaire en termes d'énergies de surface et d'énergie potentielle de pesanteur.
	<b>Mesurer un coefficient de tension superficielle, le protocole expérimental étant interprété, le cas échéant, à partir d'un bilan énergétique.</b>

## M.6 Fluides en écoulement

Cette partie introduit d'abord la description cinématique d'un fluide en écoulement et les actions mécaniques au sein d'un fluide réel en écoulement. Si le cas du fluide newtonien est privilégié, aucune loi de comportement rhéologique ne peut être exigée des étudiants.

La dynamique des fluides concerne tout d'abord l'écoulement parfait et stationnaire d'un fluide. La relation de Bernoulli est admise, tout comme son interprétation énergétique. Sont ensuite étudiés les écoulements unidirectionnels, stationnaires, laminaires et parallèles de cisaillement de fluides réels, pour lesquels le profil de vitesse est établi au moyen d'un bilan de quantité de mouvement, dont l'utilisation se limite exclusivement à cette étude. Il convient aussi de souligner les limites du modèle d'écoulement parfait. L'utilisation d'opérateurs d'analyse vectorielle et la mobilisation d'équations aux dérivées partielles sont absolument proscrites. L'étude de l'écoulement d'un fluide réel à travers un milieu poreux conclut cette partie et permet d'introduire la loi de Darcy, exprimée avec la pression motrice.

De façon générale, l'étude des fluides en écoulement doit s'appuyer sur des situations concrètes et motivantes, et peut être illustrée par des exemples tirés des sciences de la vie et de la Terre.

### M.6.1 Description d'un fluide en écoulement

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Description d'un fluide en écoulement</b> Particule de fluide. Champ eulérien des vitesses. Ligne de courant, tube de courant. Écoulement stationnaire.	Décrire, en utilisant le vocabulaire adapté, l'écoulement d'un fluide. Interpréter un document (photographie ou vidéo d'un écoulement, schéma) et identifier quelques caractéristiques de l'écoulement (stationnarité, lignes de courant, profil de vitesse).
Débit de masse, débit de volume.	Calculer un débit de masse ou de volume.
Bilans de masse. Conservation du débit de masse pour un écoulement stationnaire.	Établir et exploiter un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert ou fermé adapté.
<b>Actions mécaniques dans un fluide en écoulement</b> Force de viscosité de cisaillement pour un fluide newtonien en écoulement unidirectionnel de cisaillement du type $\vec{v} = v_x(y) \vec{e}_x$ (écoulement unidirectionnel, laminaire et parallèle de cisaillement). Viscosité dynamique.	Exploiter l'expression fournie $d\vec{F} = \eta \frac{dv_x(y)}{dy} dS \vec{e}_x$ . Citer l'ordre de grandeur des valeurs de la viscosité dynamique de l'eau et de l'air.
Traînée d'une sphère en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds $Re$ ; 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 en vitesse. <b>Capacité numérique</b> : résoudre, à l'aide d'un langage de programmation, l'équation différentielle vérifiée par la vitesse, en utilisant une modélisation fournie du coefficient de traînée $C_x$ en fonction du nombre de Reynolds, dans le cas de la chute d'une bille sphérique dans un fluide newtonien.

## M.6.2 Dynamique des fluides

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Écoulement parfait et stationnaire d'un fluide</b></p> <p>Relation de Bernoulli sous la forme <math>\frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 \pm gz = \text{cste.}</math></p>	<p>Exploiter la relation de Bernoulli, en procédant, le cas échéant, à la simplification de termes négligeables.</p>
<p>Effet Venturi. Application à la mesure d'un débit de volume.</p> <p>Tube de Pitot. Application à la mesure d'une vitesse d'écoulement.</p>	<p>Décrire le principe de l'effet Venturi.</p> <p>Établir la relation donnant le débit de volume dans un tube de Venturi.</p> <p>Décrire le principe du tube de Pitot.</p> <p>Établir la relation donnant la vitesse d'écoulement du fluide.</p>
<p><b>Modèles d'écoulements unidirectionnels de cisaillement, laminaires, parallèles et stationnaires de fluides réels</b></p> <p>Bilan de quantité de mouvement pour un fluide réel en écoulement unidirectionnel de cisaillement, laminaire, parallèle et stationnaire, dans un tube de courant à une seule entrée et une seule sortie.</p>	<p>Associer un système fermé à un système ouvert pour établir le bilan de quantité de mouvement.</p> <p>Établir et exploiter le bilan de quantité de mouvement.</p>
<p>Écoulement de Couette plan.</p>	<p>Établir l'expression du profil de vitesse pour l'écoulement de Couette plan d'un fluide newtonien à partir d'un bilan de quantité de mouvement.</p> <p>Calculer un ordre de grandeur de la valeur du nombre de Reynolds de l'écoulement et l'interpréter compte tenu d'une valeur fournie du nombre de Reynolds critique.</p>
<p>Écoulement de Poiseuille.</p> <p>Loi de Poiseuille.</p> <p>Résistance hydraulique. Associations en série et en parallèle de deux résistances hydrauliques.</p>	<p>Établir l'expression du profil de vitesse pour l'écoulement de Poiseuille d'un fluide newtonien dans une conduite cylindrique à partir d'un bilan de quantité de mouvement.</p> <p>Calculer un ordre de grandeur de la valeur du nombre de Reynolds de l'écoulement et l'interpréter compte tenu d'une valeur fournie du nombre de Reynolds critique.</p> <p>Établir l'expression de la loi de Poiseuille donnant le débit de volume en fonction de la différence de pression entre l'entrée et la sortie d'une conduite cylindrique.</p> <p>Modéliser une association série ou parallèle de résistances hydrauliques par une résistance hydraulique équivalente.</p>
<p><b>Écoulement d'un fluide réel à travers un milieu poreux</b></p> <p>Porosité. Perméabilité.</p> <p>Loi de Darcy. Pression motrice.</p>	<p>Définir la porosité d'un milieu.</p> <p>Établir le lien entre porosité et perméabilité d'un milieu pour le modèle simplifié de tubes capillaires parallèles.</p> <p>Exploiter la loi de Darcy énoncée avec la pression motrice.</p> <p><b>Mesurer la porosité ou la perméabilité d'un milieu poreux.</b></p>

## Thème S – ondes et signaux

### S.4 Filtrage linéaire d'un signal

Dans cette partie, le principe du filtrage d'un signal périodique est introduit en utilisant un système linéaire modélisé par un filtre passif du premier ordre, pour lequel une étude théorique, mobilisant le formalisme complexe, est conduite à partir d'une équation différentielle, sans utiliser la notion d'impédance complexe, hors programme. La mise en œuvre expérimentale de systèmes d'ordres supérieurs, dont la courbe de réponse ou la fonction de transfert est fournie, permet de prolonger et de compléter cette étude, l'objectif étant de développer la capacité des étudiants à déterminer la nature qualitative du filtre linéaire adapté à une opération de filtrage donnée. La notion de gain en décibel est hors programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectre d'un signal périodique.	Analyser la décomposition d'un signal périodique fournie sous la forme d'une somme de fonctions sinusoïdales. Identifier la valeur moyenne du signal dans le spectre d'un signal périodique.
Modèle de filtre passif d'ordre 1 : réponse du circuit RC à une excitation sinusoïdale.	Utiliser la notation complexe pour étudier le régime forcé.
Fonction de transfert harmonique, courbes de réponse en gain (module de la fonction de transfert) et en phase, fréquence de coupure, bande passante.	Tracer une courbe de réponse en gain ou en phase associée à une fonction de transfert harmonique du premier ordre. Exploiter une courbe de réponse en gain ou en phase associée à une fonction de transfert harmonique d'ordre quelconque. <b>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale, la fonction de transfert du filtre étant fournie, ou sa courbe de réponse (en gain et/ou en phase) étant fournie ou déterminée expérimentalement.</b>

## S.5 Interaction lumière-matière

L'interaction lumière-matière, illustrée en première année à travers les techniques de spectroscopies moléculaires UV-visible et infrarouge, est désormais enrichie grâce au modèle quantique de l'oscillateur harmonique vu dans le thème « **mouvements et interactions** ». L'existence de niveaux d'énergie vibrationnels discrets permet de rendre compte du phénomène de fluorescence, très souvent mis en œuvre en imagerie cellulaire. Aucun développement n'est attendu sur les états de spin moléculaire, le diagramme énergétique de Perrin-Jablonski ou le fonctionnement d'un spectrofluorimètre.

Le professeur veille à illustrer cette partie en faisant appel à quelques applications pertinentes de son choix ou figurant dans la liste indicative suivante : révélation UV en chromatographie sur couche mince, détection de contrefaçon, imagerie cellulaire, protéines fluorescentes, analyses biologiques, spectrofluorométrie, etc.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Absorption et émission de photons, transition entre niveaux d'énergie électroniques et vibrationnels.	Associer un domaine spectral de rayonnement électromagnétique à la nature d'une transition entre niveaux d'énergie électroniques ou vibrationnels.
Existence de différentes voies de désexcitation radiatives et non radiatives, durée de vie de l'état excité.	Interpréter la différence d'énergie entre photons absorbés et photons émis.
Espèce chimique fluorophore, fluorescence, déplacement de Stokes, coefficient d'absorption molaire et rendement quantique de fluorescence.	Identifier, par comparaison, un spectre d'absorption et un spectre d'émission d'une espèce chimique fluorophore. Déterminer la valeur de la constante de vie radiative à partir de données expérimentales d'intensité de fluorescence en fonction du temps.

## Thème T – phénomènes de transport

### T.2 Conduction thermique

Cette partie est consacrée à la présentation de la conduction thermique et vient compléter l'introduction aux transferts thermiques réalisée en première année. Fondée sur une approche analogue à celle qui prévaut en première année pour l'étude du transport de matière diffusif, l'étude de la conduction thermique se fait sans formalisme vectoriel : le vecteur densité de courant d'énergie est explicitement hors programme. La loi phénoménologique de Fourier est énoncée sous forme intégrale : l'expression du flux thermique est donnée en fonction de la dérivée de la température par rapport à une seule coordonnée spatiale et d'une surface adaptée à la géométrie considérée. Les étudiants disposent ainsi des outils nécessaires à l'établissement des expressions des résistances thermiques, admises en première année. Le professeur souligne le rôle fondamental de l'agitation thermique dans le processus de conduction thermique. Afin d'éviter toute dérive calculatoire, toute situation où le champ de température dépend du temps est exclue, à l'exception du régime quasi-stationnaire. Les régimes variables dans le temps sont seulement approchés de façon qualitative grâce à la loi d'échelle, introduite à par-

tir d'une analyse dimensionnelle, donnant le temps caractéristique de conduction thermique en fonction de l'extension spatiale et du coefficient de diffusivité thermique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Modèle phénoménologique de la conduction thermique</b> Loi phénoménologique de Fourier donnant le flux thermique en fonction de la dérivée de la température par rapport à une seule coordonnée spatiale, à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie considérée. Conductivité thermique.</p>	<p>Discuter des dépendances du flux thermique à travers une paroi en fonction de ses paramètres géométriques (épaisseur et surface de la paroi) et physiques (conductivité thermique du milieu).</p> <p>Citer l'ordre de grandeur de la conductivité thermique de l'air, de l'eau et d'un métal, à température et pression ambiantes.</p>
<p>-----</p> <p>Coefficient de diffusivité thermique.</p> <p>Loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusivité thermique.</p>	<p>Exploiter la relation fournie exprimant le coefficient de diffusivité thermique en fonction de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité thermique massique.</p> <p>Exploiter la loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusivité thermique.</p>
<p>Bilan d'énergie en régime stationnaire ou quasi-stationnaire.</p>	<p>Établir un bilan d'énergie, éventuellement en présence de sources internes.</p> <p>Exploiter la conservation du flux thermique en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.</p>

## Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous 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 cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

### 1) Au laboratoire de physique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux basse fréquence
- Multimètre numérique
- Microcontrôleur
- Dynamomètre
- Accéléromètre
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique
- Thermomètre ou thermocouple
- Calorimètre

### 2) Au laboratoire de chimie

- Verrerie usuelle de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, béchers, etc.
- Verrerie usuelle de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression atmosphérique et sous pression réduite, matériel de distillation hétéroazéotropique
- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et électrodes de mesure
- Voltmètre et électrodes
- Conductimètre et cellule de mesure
- Polarimètre
- Thermomètre
- Balance de précision

## Annexe 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. Le tableau ci-dessous recense non seulement les outils mathématiques et les capacités exigibles du programme de BCPST1, dont l'acquisition est consolidée en seconde année, mais aussi des capacités supplémentaires introduites en classe de seconde année BCPST2.

Comme en première année, les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité sont traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>Équations algébriques</b>	
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 analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$ .

Équations non linéaires.	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$ . Interpréter graphiquement la ou les solutions.
<b>Équations différentielles</b>	
Équations différentielles à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre une équation différentielle du premier ou du second ordre sous forme canonique.
Équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants de la forme : $y' + ay = b$ .	Trouver la solution de l'équation sans second membre (équation homogène). Déterminer une solution particulière de l'équation compte tenu du second membre. Trouver la solution de l'équation correspondant à des conditions initiales données.
Équation différentielle linéaire du deuxième ordre à coefficients constants de la forme : $y'' + ay' + by = 0$ .	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression de la solution compte tenu de conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Équation différentielle linéaire du deuxième ordre à coefficients constants de la forme : $y'' + ay = A\cos(\omega t + \varphi)$ .	Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression de la solution en régime établi (solution particulière). Trouver l'expression de la solution de l'équation complète, compte tenu de conditions initiales données.
Autres équations différentielles du premier ou du second ordre.	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 la représentation graphique de la solution correspondante.
<b>Fonctions</b>	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ( $x \mapsto x^\alpha$ ).
Dérivée. Notation $\frac{dx}{dt}$ .	
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 $(1+x)^\alpha$ , $\exp(x)$ , $\ln(1+x)$ au voisinage de $x = 0$ et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$ au voisinage de $x = 0$ .
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.	Déterminer un comportement asymptotique; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
<b>Géométrie</b>	
Vecteurs et systèmes de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée. Utiliser le système des coordonnées cartésiennes.

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.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer 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.
<b>Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
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 $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$ , parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer 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.

## Annexe 3 : outils numériques

La prise en compte de capacités de codage en langage Python incluant l'utilisation de fonctions extraites de diverses bibliothèques dans la formation des étudiants vise à une meilleure appréhension des principes mis en œuvre par les différents logiciels de traitement des données dont l'utilisation est, par ailleurs, toujours recommandée et à mobiliser ces capacités dans un contexte concret, celui de la physique-chimie. Cette formation par le codage permet également de développer des capacités utiles à la physique-chimie comme le raisonnement, la logique ou la décomposition d'un problème complexe en étapes plus simples.

Le tableau ci-dessous recense les outils ainsi que les capacités exigibles introduits en première année BCPST1 et complétés pour la seconde année BCPST2. La documentation des bibliothèques mentionnées ci-après est systématiquement fournie aux étudiants.

Outils numériques	Capacités exigibles
<b>Outils graphiques</b>	
Représentation graphique d'un nuage de points	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour représenter un nuage de points et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser les fonctions de base de la bibliothèque <code>matplotlib</code> pour tracer la courbe représentative d'une fonction et rendre le graphe exploitable (présence d'une légende, choix des échelles...).
<b>Équations algébriques</b>	
Résolution d'une équation algébrique ou d'une équation transcendante : méthode dichotomique.	Déterminer, en s'appuyant sur une représentation graphique, un intervalle adapté à la recherche numérique d'une racine par une méthode dichotomique. Utiliser la fonction <code>bisect</code> de la bibliothèque <code>scipy.optimize</code> (sa spécification étant fournie).
<b>Équations différentielles</b>	

Équations différentielles du premier ordre.	Écrire un programme mettant en œuvre la méthode d'Euler explicite afin de résoudre une équation différentielle d'ordre 1.
Équations différentielles du second ordre.	Transformer une équation différentielle d'ordre 2 en un système différentiel de deux équations d'ordre 1. Utiliser la fonction <code>odeint</code> de la bibliothèque <code>scipy.integrate</code> (sa spécification étant fournie).
<b>Statistiques</b>	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données. Utiliser les fonctions de base du module <code>random</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour simuler un processus aléatoire.