

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

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

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. Capacité numérique : 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
Grandeurs physiques diverses 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.
Mesures de durées et de fréquences Fréquence ou période : mesure directe au fréquencemètre numérique à l'oscilloscope ou <i>via</i> une carte d'acquisition.	Mettre en œuvre une méthode directe de mesure de fréquence ou de période.
Mesures électriques 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.
Mécanique 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.
Thermodynamique 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
Transformation chimique	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. 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.
Séparation et purification	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.
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 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
Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté	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'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.
Dosages par étalonnage	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.
Dosages par titrage Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	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.
Suivi cinétique de transformations chimiques 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
Prévention des risques au laboratoire 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.
Prévention de l'impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

Deuxième partie

Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

Premier semestre

Thème E – énergie : conversions et transferts	9
E.1 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système	10
E.2 Bilans d'énergie pour un système thermodynamique	10
Thème S – ondes et signaux	11
S.1 Propagation d'un signal physique	11
S.2 Signaux électriques en régime stationnaire	12
Thème C – constitution et transformations de la matière	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

Thème M – mouvements et interactions	18
M.1 Description et paramétrage du mouvement d'un point	18
M.2 Lois de Newton	18
Thème C – constitution et transformations de la matière	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
Thème S – ondes et signaux	25
S.3 Dynamique d'un circuit électrique du premier ordre	25
Thème E – énergie : conversions et transferts	25
E.3 Formulation et application des principes de la thermodynamique à l'étude des machines thermiques	25
E.4 Statique des fluides	26
Thème T – phénomènes de transport	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
Caractérisation d'un système thermodynamique Système thermodynamique. Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. État d'équilibre thermodynamique.	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.
Gaz parfait Modèle du gaz parfait. Masse volumique, température, pression. Équation d'état du gaz parfait.	Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.
Énergie interne du gaz parfait. Extensivité de l'énergie interne. Capacité thermique à volume constant d'un gaz considéré comme parfait.	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.
Phase condensée indilatable et incompressible Modèle de la phase condensée indilatable et incompressible.	
Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'une phase condensée incompressible et indilatable en fonction de sa température.
Description d'un corps pur en équilibre diphasé Corps pur en équilibre diphasé. Diagramme de phases (P, T). Cas particulier de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v), pression de vapeur saturante, titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phases expérimental (P, T). Positionner les différentes phases d'un corps pur dans les diagrammes (P, T) et (P, v).

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
Transformations thermodynamiques Transformation thermodynamique d'un système. Transformations isochore, isobare et monobare. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	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.
Premier principe de la thermodynamique. Bilans d'énergie. Premier principe de la thermodynamique.	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.
Travail	

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.
Transferts thermiques 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.
Fonction d'état enthalpie 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. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion, etc.).

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
Signaux physiques Exemples de signaux physiques.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux mécaniques, acoustiques, électriques et sismiques.

Propagation d'un signal dans un milieu homogène, illimité, non dispersif et transparent Célérité.	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.
Retard temporel.	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.
Approche descriptive de la propagation d'un signal unidimensionnel. Cas particulier du signal sinusoïdal : amplitude, double périodicité spatiale et temporelle.	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. Mesurer la célérité d'un phénomène ondulatoire.
Rayonnement électromagnétique : modèles ondulatoire et particulaire de la lumière Domaines spectraux du rayonnement électromagnétique.	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.
Photon : énergie, loi de Planck-Einstein. Effet photoélectrique et photoionisation.	Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique et l'effet photoionisant à l'aide du modèle particulaire de la lumière.
Réflexion, réfraction Notion de rayon lumineux dans le modèle de l'optique géométrique. Indice optique d'un milieu transparent. Réflexion, réfraction des ondes lumineuses. Lois de Snell-Descartes.	Définir le modèle de l'optique géométrique et en indiquer les limites. Établir la condition de réflexion totale.
Rais sismiques. Généralisation des lois de Snell-Descartes aux ondes sismiques de volume.	Appliquer les lois de la réflexion et de la réfraction à l'étude de la propagation des ondes sismiques de volume dans la Terre.

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
Grandeurs électriques Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime variable et régime stationnaire. Potentiel électrique, référence de potentiel, tension électrique. Mise à la terre.	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.
Circuits en régime continu	

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. Mettre en œuvre un capteur résistif.
Aspect énergétique 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
Modélisation quantique de l'atome 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 s et p .	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 f 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
Modèles de la liaison covalente Modèle de Lewis de la liaison covalente localisée. Modèle quantique de la liaison : recouvrement des OA, notion de liaison σ et de liaison π .	Relier qualitativement à la notion de recouvrement des OA les différences d'ordres de grandeur des énergies des liaisons σ et π 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>Géométrie et polarité des entités chimiques</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 AX_n avec $n \leq 4$ et AX_pE_q avec $p + q = 3$ ou 4.</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'ionicté 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'électroneutralité 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 ^1H 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>Familles d'entités chimiques organiques</p> <p>Familles fonctionnelles en chimie organique : amine, amide, cétone, aldéhyde, alcool, thiol, ester, acide carboxylique, hémicétal et acétal, anhydride phosphorique.</p> <p>Familles d'entités chimiques intervenant dans la chimie du vivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ sucres (ou oses) et autres glucides; ◦ acides gras, triglycérides, phosphoglycérides et autres lipides; ◦ acides aminés, peptides et protéines; ◦ nucléosides, nucléotides, acides nucléiques. 	<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>Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge</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>Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton</p> <p>Exploitation de spectres RMN ^1H. Déplacement chimique, intégration. Multiplicité d'un signal : couplages du premier ordre A_mX_p et $A_mM_pX_q$.</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>

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

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

Constante thermodynamique d'équilibre K° .	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.
Composition à l'état final 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. Déterminer la valeur d'une constante d'équilibre et tester l'influence de différents paramètres sur la composition finale d'un système.

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. Capacité numérique : 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, éthanoïque, du dioxyde de carbone aqueux, de la soude, la potasse, l'ion hydrogéné-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. Mettre en œuvre une réaction acide-base pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.
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. Réaliser une pile et étudier son fonctionnement.
Réaction d'oxydo-réduction. Constante thermodynamique d'équilibre. Dismutation et médiatisation.	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. Mettre en œuvre une réaction d'oxydo-réduction pour réaliser une analyse qualitative ou quantitative en solution aqueuse.
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'algébrisation des grandeurs dans un contexte relevant de la physique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Repérage dans l'espace et dans le temps Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement.	Choisir un référentiel adapté à la description du mouvement étudié.
Cinématique du point 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.
	Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

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. 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.
Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme 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
Changements d'état des corps purs 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.
Solubilité, miscibilité 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.
Amphiphilie	

Espèces chimiques amphiphiles, micelles, structure schématisée 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. Capacité numérique : 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. Capacité numérique : 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. 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.
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.	Capacité numérique : 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 spirali- sation 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
Du macroscopique... Modification de groupes caractéristiques. Modification de la chaîne carbonée (allongement ou coupure).	Identifier le rôle (modification de la chaîne carbonée et/ou de groupes caractéristiques) d'une étape d'une synthèse organique multi-étapes.
Types de réactions en chimie organique : addition, substitution, élimination, oxydation, réduction.	Identifier la nature d'une réaction en chimie organique.
Utilisation d'une banque de réactions.	Utiliser une banque de réactions pour proposer une synthèse multi-étapes d'une espèce chimique organique.
Chimiosélectivité, régiosélectivité.	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 ^1H) pour suivre l'évolution d'une transformation chimique ou mettre en évidence une éventuelle sélectivité.
...au microscopique Nucléophile, électrophile. Espèces chimiques classiquement utilisées comme électrophiles : halogénoalcane, 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
Addition électrophile sur une double liaison $C=C$ Conversion d'un dérivé éthylénique en halogénoalcane (hydrohalogénéation par voie ionique) ou en alcool (hydratation), mécanisme, régiosélectivité. Stabilisation d'un carbocation par effets électroniques.	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.
Substitution nucléophile aliphatique Mécanismes limites S_N1 et S_N2 . Lois de vitesses associées. Application à la conversion d'halogénoalcane.	Justifier des différences de réactivité en termes de polarisabilité. Justifier le choix d'un mécanisme limite, S_N1 ou S_N2 , 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.
Addition nucléophile 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 carbonyles, 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 carbonyles, mécanisme simplifié faisant intervenir un ion hydrure.	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.
Addition nucléophile suivie d'élimination 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.	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.
	Mettre en œuvre la synthèse, la purification et la caractérisation d'une espèce organique.

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
Activité optique. Loi de Biot, mélange racémique. Stéréosélectivité, stéréospécificité. Caractéristiques stéréochimiques des réactions d'addition et de substitution.	Relier la valeur du pouvoir rotatoire à la composition d'un mélange de stéréoisomères. Déterminer la composition d'un système chimique ou suivre une transformation chimique à partir de mesures d'activité optique. 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.

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. Réaliser l'acquisition d'un signal électrique caractéristique d'un système du premier ordre et en étudier les caractéristiques.
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
Pression dans un fluide au repos 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.
Équilibre hydrostatique dans le champ de pesanteur terrestre 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
Modèle phénoménologique de transport de matière 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
Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression 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.
Équations différentielles	
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.
Fonctions	
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.
Géométrie	
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.

Trigonométrie	
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
Outils graphiques	
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...).
Équations algébriques	
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).
Équations différentielles	
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).
Statistiques	
Régression linéaire.	Utiliser la fonction <code>polyfit</code> de la bibliothèque <code>numpy</code> (sa spécification étant fournie) pour exploiter des données.