



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

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

#### **Annexe 1**

### **Programmes de sciences de la vie et de la Terre**

### PROGRAMME DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

#### PRÉAMBULE DU PROGRAMME

Le programme de sciences de la vie et de la Terre de la classe de BCPST s'inscrit dans un continuum entre les programmes de lycée et ceux des grandes écoles auxquelles préparent les classes de BCPST. Le programme de BCPST prend en compte les programmes rénovés de lycée entrés en vigueur à la rentrée 2019 pour les classes de seconde et de première et à la rentrée 2020 pour la classe de terminale. Il vise à amener progressivement tous les étudiants au niveau requis pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de vétérinaire, de chercheur, d'enseignant.

Ce programme, avec ceux des autres disciplines scientifiques, vise à développer chez les étudiants « *la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée* » (Commission des Titres d'Ingénieur).

Les connaissances et les compétences travaillées au lycée sont nécessairement approfondies en classe préparatoire, tout en donnant un panorama large et actualisé des grands domaines des sciences de la vie et de la Terre pour permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la voie choisie, de la recherche fondamentale ou de l'application à un autre champ professionnel. Il s'agit de construire et stabiliser, à un niveau de première expertise, les connaissances essentielles (sans viser à l'exhaustivité), d'acquérir les principales compétences, de s'imprégner des attitudes intellectuelles communément reliées à l'exercice de la pensée scientifique.

À l'issue de la formation, les étudiants issus de BCPST disposent des bases scientifiques solides dans tous les champs nécessaires pour aborder des enjeux-clefs du XXI<sup>e</sup> siècle : changement climatique, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, alimentation, gestion des ressources naturelles biologiques ou minérales, gestion durable des sols, transition énergétique, santé (dans une logique One Health), etc.

Ce programme est destiné aux professeurs de BCPST et à leurs étudiants, mais également aux professeurs de lycée, comme aux interrogateurs de concours et aux grandes écoles.

#### Contenus et organisation des programmes

Le programme de SVT des classes de BCPST se structure en trois grandes thématiques :

- Sciences de la vie ;
- Sciences de la Terre ;
- Biogéosciences (domaine se situant à l'interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre).

• **En sciences de la vie**, le programme explore différentes échelles d'étude pour les premières parties : échelle des organismes, échelle cellulaire et moléculaire, échelle des écosystèmes. Plusieurs grandes catégories de problématiques sous-tendent les contenus : la relation organisation / fonctionnement, parfois étudiée en relation avec le milieu, les interrelations entre les éléments spécialisés des systèmes qui en assurent l'intégration du fonctionnement et l'origine évolutive des structures et des processus biologiques issus d'une histoire qui s'ancre dans un temps long. L'étude du métabolisme cellulaire permet de comprendre le fonctionnement énergétique à l'échelle cellulaire. La nature et la transmission de l'information génétique du vivant est envisagée à différentes échelles temporelles : le temps court de l'expression génétique et de son contrôle, le temps plus long de la transmission de l'information génétique entre générations et de ses conséquences sur la dynamique populationnelle, le temps de l'évolution. Le programme pose ensuite un regard fonctionnel sur le vivant, par l'étude de la reproduction des êtres vivants, des processus développementaux impliqués dans l'ontogenèse des Métazoaires, en prenant comme support privilégié le développement du membre chez les Vertébrés. L'étude de la circulation sanguine apporte un regard intégratif sur une grande fonction de l'organisme animal et sert d'appui à la compréhension des mécanismes impliqués dans les communications intercellulaires. La partie « populations et écosystèmes » envisage les différentes échelles allant de l'organisme à la biosphère et le regroupement des organismes en populations et en communautés où existent divers types de relations interspécifiques. Une fois mise en place la notion d'écosystème, il s'agit d'en étudier la structure, le fonctionnement et la dynamique, remobilisés en seconde année en biogéosciences. La diversité du vivant varie au cours du temps : elle est le résultat d'une histoire évolutive et est en devenir permanent. Il s'agit ici de comprendre les mécanismes de l'évolution. Enfin, l'étude de la phylogénie permet de comprendre les principes et les méthodes de la construction d'arbres phylogénétiques, utiles à l'élaboration de scénarios évolutifs.

• **En sciences de la Terre**, le programme vise essentiellement à présenter la Terre solide et conjugue la nécessité de prendre en compte les géosciences fondamentales et appliquées dans une société confrontée aux enjeux de l'approvisionnement en ressources naturelles et à la gestion des risques géologiques. La première année permet de mettre en place les outils et les concepts constituant le cadre d'étude des géosciences. L'étude de la structure de la planète Terre permet de faire la transition entre l'enseignement secondaire dont les acquis sont repris et stabilisés en première année de classe préparatoire. L'étude des déformations de la lithosphère, des processus sédimentaires, du magmatisme et du métamorphisme vise à la compréhension de phénomènes géologiques fondamentaux. La Terre est étudiée dans son fonctionnement actuel mais aussi dans un cadre historique. La partie sur la mesure du temps fournit les outils et méthodes de la géologie historique, appliqués à l'étude des grands ensembles géologiques français. Loin de viser l'exhaustivité ou l'érudition, l'enjeu de la formation en sciences de la Terre est d'élaborer une vision synthétique du système Terre. Le programme permet de relier les différentes échelles d'espace : couplage entre les différentes sphères, intégration dans le cadre de la tectonique globale, compréhension des grands ensembles structuraux régionaux. Le programme de sciences de la Terre invite à mettre les cartes au centre de la réflexion, qu'elles soient géologiques ou thématiques, et à conduire un va-et-vient entre représentations cartographiques et réel chaque fois que possible. L'étude des objets géologiques est l'occasion de développer chez les étudiants des compétences scientifiques générales : capacité d'observation d'objets complexes, raisonnement à partir de données partielles et incomplètes, raisonnement simultané sur plusieurs échelles temporelles et spatiales, importance de l'histoire de l'objet étudié, capacité à se représenter un objet en trois dimensions à partir d'observations discontinues.

• **En biogéosciences**, le programme met en exergue les grands enjeux scientifiques et sociétaux du XXI<sup>e</sup> siècle, le plus souvent des sujets se situant aux interfaces disciplinaires. Leur étude s'appuie sur des convergences entre sciences de la vie et sciences de la Terre, se matérialisant dans certains domaines de recherche actuels. Les grands cycles biogéochimiques, le sol et le climat de la Terre sont des thèmes indispensables à la formation de base d'un futur ingénieur, vétérinaire, chercheur ou

décideur par la vision systémique et interdisciplinaire qu'ils apportent. Ces trois thèmes permettent aux étudiants de bâtir une compréhension scientifique de systèmes complexes aux différentes échelles de temps et d'espace et d'interroger l'interaction entre les activités humaines et les phénomènes naturels. La partie sur les grands cycles biogéochimiques permet de comprendre les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément et d'envisager les spécificités des cycles du carbone et de l'azote. Elle est remobilisée pour comprendre le fonctionnement d'un sol ainsi que la place du carbone et de l'azote dans le climat de la Terre. La partie sur le sol présente cette mince pellicule à l'interface entre la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère, construite en interaction avec les êtres vivants. Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, en particulier de services d'approvisionnement liés à la production alimentaire et constituent une ressource actuellement menacée. La compréhension de leur organisation fonctionnelle implique une approche plurielle mobilisant différents champs disciplinaires. Enfin, la partie sur le climat de la Terre débute par la compréhension de l'organisation et de la dynamique des enveloppes fluides (océan et atmosphère) qui constituent des acteurs clefs du système climatique. Les changements climatiques, à courte et longue échelle de temps, sont l'occasion de mettre en lien variabilité climatique et reconstitution des paléoenvironnements. Enfin, les conséquences sur la biodiversité des variations climatiques actuelles, d'origine anthropique, sont envisagées.

Le tableau suivant présente l'organisation du programme et sa répartition sur les deux années.

Thématiques et parties	BCPST 1	BCPST 2
<b>Thématique « Sciences de la vie » (SV)</b>		
SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement	x	x
SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie	x	x
SV-C La cellule dans son environnement	x	
SV-D Organisation fonctionnelle des molécules du vivant	x	
SV-E Le métabolisme cellulaire	x	
SV-F Génomique structurale et fonctionnelle	x	x
SV-G Reproduction	x	x
SV-H Mécanismes du développement : exemple du développement du membre des Tétrapodes		x
SV-I Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme		x
SV-J Populations et écosystèmes	x	
SV-K Évolution et phylogénie	x	x
<b>Thématique « Biogéosciences » (BG)</b>		
BG-A Les grands cycles biogéochimiques		x
BG-B Les sols		x
BG-C Le climat de la Terre	x	x
<b>Thématique « Sciences de la Terre » (ST)</b>		
ST-A La carte géologique et ses utilisations	x	
ST-B La structure de la planète Terre	x	
ST-C La dynamique des enveloppes internes	x	
ST-D Les déformations de la lithosphère	x	
ST-E Le phénomène sédimentaire	x	
ST-F Le magmatisme		x
ST-G Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne		x
ST-H La mesure du temps : outils et méthodes	x	
ST-I Les risques et les ressources géologiques		x
ST-J Les grands ensembles géologiques		x

Les enseignants sont libres d'organiser leur progression sur les deux semestres d'une année mais plusieurs parties nécessitent une bonne articulation au sein de l'équipe pédagogique. La rubrique de liens facilite le repérage de ces articulations interdisciplinaires.

Chacune de ces trois thématiques est organisée en parties qui traitent des grandes questions scientifiques du programme. Un chapeau succinct en résume le contenu, en présente l'état d'esprit et les objectifs. Après chaque titre de partie ou de sous-partie, la position en première et/ou deuxième année est indiquée.

Le programme est présenté dans un tableau dont la colonne de gauche comprend l'énoncé des savoirs visés. Son contenu ne constitue pas un résumé des savoirs à construire mais désigne les éléments attendus de la formation des étudiants. Ces contenus (faits, modèles, concepts) constituent une base de connaissances indispensables et doivent pouvoir être exposés par l'étudiant de façon concise et argumentée, en particulier dans le cadre d'épreuves de synthèse. Ils servent aussi de cadres de référence pour analyser, interpréter, discuter des objets ou des documents portant sur des éléments non directement mentionnés dans le programme, mais présentés de telle façon qu'ils permettent une réflexion scientifique rigoureuse, en particulier dans le cadre d'épreuve sur documents.

La colonne de droite identifie les capacités exigibles des étudiants à l'issue de leur formation. Les capacités surlignées en bleu sont celles qui peuvent être plus particulièrement abordées lors des séances de travaux pratiques ou lors des activités de terrain sans que cela ne soit exclusif à ces séances. L'intégration dans un même tableau des concepts et des capacités développés donne une vision d'ensemble du thème correspondant, tout en permettant aux enseignants d'exercer pleinement leur liberté pédagogique et en ouvrant le champ des possibles. Par ailleurs, une rubrique « Précisions et limites » indique :

- des précisions sur les contenus attendus ;
- l'identification éventuelle d'un exemple à utiliser. Cependant, le fait qu'un exemple soit désigné ne constitue pas une incitation à réaliser une monographie pointilleuse. Le niveau d'exigence est limité à ce qui peut servir la construction ou l'illustration des concepts visés ;
- des limites concernant les savoirs ou les capacités à construire avec les étudiants.

Ensuite, une autre rubrique liste les liens avec d'autres parties du programme ou avec l'enseignement d'autres disciplines. Ces indications invitent à des mises en relations fortes, afin d'aider les étudiants à percevoir la cohérence de leur formation et d'appréhender au mieux les réseaux conceptuels mobilisables, notamment d'une année à l'autre. Elle aide les étudiants à percevoir les grands concepts clefs des SVT et les problématiques essentielles qui constituent des fils rouges indispensables, au-delà de la présentation linéaire obligée d'un programme.

En fin de chaque thématique, un tableau synthétise l'ensemble des séances de travaux pratiques, afin d'en préciser le nombre et de situer leur apport à la construction des connaissances et des compétences. En permettant de présenter une diversité d'objets, sans pour autant requérir la mémorisation de ce qui n'est pas clairement posé comme exigible, les travaux pratiques sont des moments privilégiés d'élargissement et doivent contribuer à ne pas enfermer les représentations dans un cadre conceptuel trop étroit et dogmatique.

La mise en œuvre du programme de SVT repose ainsi sur des cours mais aussi sur des travaux pratiques et des activités de terrain qui construisent de façon complémentaire des connaissances et des compétences. Les travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE) complètent la formation en amenant les étudiants à conduire par eux-mêmes une démarche scientifique mobilisant différentes disciplines.

Dans la mise en œuvre de ce programme, les professeurs gardent la liberté d'organiser leur enseignement comme ils le souhaitent, dans la limite du découpage sur les deux années et en tenant compte de la formation antérieure des étudiants (spécialité SVT, spécialité biologie-écologie en lycée agricole).

Les enseignants ont une latitude certaine dans le choix de l'organisation de leur enseignement, de leurs méthodes, de leur progression globale, mais aussi dans le choix de leurs problématiques. Cependant, dans le cadre de cette liberté pédagogique, les professeurs gagneront à organiser leur enseignement suivant deux grands principes directeurs :

- la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : les apprentissages seront d'autant plus efficaces que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, à la participation et à l'autonomie des étudiants. La détermination et l'étude des problématiques, alliées à un temps approprié d'échanges, favorisent cette mise en activité.

- la mise en contexte des connaissances et des capacités travaillées : les SVT et les problématiques associées se prêtent de façon privilégiée à une mise en perspective de leur enseignement avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques ainsi que des questions d'actualité. Les enseignants de SVT sont ainsi conduits naturellement à mettre leur enseignement « en culture » pour rendre leur démarche plus naturelle et motivante auprès des étudiants.

### **La nature des savoirs scientifiques et leur élaboration**

Un enjeu important de l'enseignement des sciences est de permettre aux étudiants d'accéder à la nature des savoirs scientifiques et de comprendre la façon dont ils sont élaborés. Les étudiants doivent être en mesure, à l'issue de leur formation, de distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion de ce qui constitue un savoir scientifique. À travers les enseignements de SVT, en collaboration avec la physique-chimie et lors des TIPE, les étudiants sont invités à comprendre que les savoirs scientifiques se construisent par un travail collectif au sein de communautés scientifiques et sont validés par les pairs (*peer-review*). Les théories et les modèles scientifiques sont élaborés en relation avec des observations et des expériences et ont des conséquences testables. Tout savoir scientifique est donc par nature rectifiable, provisoire et réfutable. Et donc, *in fine*, les étudiants doivent pouvoir remettre en question leurs connaissances au regard de données nouvelles pour proposer de nouveaux modèles explicatifs, de même qu'un ingénieur, un vétérinaire, un chercheur ou un décideur doit d'être capable de remettre en question ses propres certitudes pour répondre aux défis qui lui seront donnés et de pouvoir ainsi innover.

Cette formation épistémologique peut être envisagée par l'histoire des idées, des modèles et des théories en SVT et s'appuyer, par exemple, sur l'analyse de la structure d'une publication scientifique.

### **Activités et recherches de terrain**

Organisées chaque année, les activités de terrain contribuent à la construction des savoirs. Elles peuvent aussi constituer des moments de réinvestissement dans des contextes différents. Le travail de laboratoire et le travail de terrain sont complémentaires et traduisent la double dimension des SVT, à la fois science expérimentale et science naturaliste, donnant toute sa place à l'observation. Le terrain permet une approche de la complexité des objets ainsi que des phénomènes biologiques et géologiques aux différentes échelles, dont celles des paysages, des affleurements géologiques et des écosystèmes, impossibles à appréhender dans le cadre exclusif de la classe. Le terrain est un lieu privilégié de mise en relation entre un modèle explicatif et des données empiriques (observations, mesures, etc.). Les faits de terrain ne sont pas « donnés » mais construits au regard d'une

problématique scientifique et instrumentés par des méthodes et des techniques, donnant à voir une partie du réel. C'est une des différences entre le travail de terrain et le travail que l'on peut mener en classe à partir de données qui ont déjà été acquises et traitées pour l'analyse. Sur le terrain, les objets biologiques et géologiques ne parlent pas d'eux-mêmes : il faut déterminer quoi observer, quoi mesurer, quoi échantillonner selon un objectif donné. Cette dimension de recherche sur le terrain développe l'autonomie des étudiants.

Les activités de terrain permettent d'étudier des objets et des structures biologiques et géologiques situés à distance de l'établissement (bassin sédimentaire, chaîne de montagne, écosystèmes, etc.). D'autres activités peuvent se dérouler dans l'enceinte de l'établissement ou à proximité (étude de la biodiversité, par exemple dans le cadre de programmes de sciences participatives, étude de la géologie d'une grande ville de France).

Les activités de terrain sont également l'occasion de rencontrer des professionnels, de visiter des exploitations agricoles, des entreprises et des écoles afin de participer à la construction du projet de poursuite d'études des étudiants et de leurs compétences préprofessionnelles.

Le tableau suivant présente le potentiel des activités et recherches de terrain à travailler en BCPST 1 et BCPST 2. Elles ne sont pas toutes exigibles mais présentent l'apport du terrain à la formation des étudiants, que les enseignants sont libres d'exploiter.

<b>Activités et recherches de terrain</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• S'orienter sur le terrain et se localiser sur une carte (topographique, géologique, de végétation, pédologique).</li><li>• Analyser un paysage : identifier et caractériser des unités dans le paysage, incluant la description des groupements végétaux, du substratum géologique, de la topographie et des usages par l'être humain ; déterminer les liens de causalité qui unissent ces différentes composantes ; expliquer la dynamique des unités paysagères, souvent liée à leur usage présent ou passé.</li><li>• Déterminer les espèces principales dans un écosystème.</li><li>• Collecter des données et les confronter à des bases de données pour les vérifier, les enrichir, les mettre en relation (identification d'espèces, nature de roches, ...).</li><li>• Proposer un protocole de caractérisation des paramètres abiotiques locaux et saisir des données de terrain (température ; hygrométrie ; luminosité ; vitesse du vent...) en les confrontant à des données météorologiques moyennes sur un temps long afin de caractériser le biotope d'un écosystème.</li><li>• Mettre en œuvre un protocole d'étude de la biodiversité sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés (méthode des quadrats, transect, pièges, écoutes...) incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation) pour répondre à un problème scientifique.</li><li>• Estimer l'abondance et la densité d'une population, la richesse spécifique d'un écosystème par une étude de terrain.</li><li>• Réaliser une étude pédologique sur le terrain (profil d'un sol brun et caractérisation des horizons – couleur, texture, pH...-, étude de la litière et du type d'humus, observation de la faune du sol et de ses manifestations). Synthétiser les observations en lien avec la roche-mère, la végétation, la topographie et le climat.</li><li>• Caractériser certains aspects du fonctionnement d'un écosystème à partir d'observations de terrain (traces, nids, restes alimentaires, relations parasitaires ou symbiotiques, etc.) qui témoignent d'interactions entre les composants biotiques du système.</li><li>• Rendre compte d'observations de terrain sous différentes formes (photographie, film, croquis ou dessin, carte, texte, réalité augmentée).</li><li>• Observer, décrire, identifier des objets géologiques à différentes échelles (roche, affleurement et paysage) lors d'une étude de terrain.</li></ul>

- Reconstituer, analyser et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace lors d'une étude de terrain.
- Intégrer des données de terrain dans un système d'information géographique (SIG).
- Proposer des hypothèses expliquant la mise en place de structures géologiques observées sur le terrain en mobilisant des concepts et des principes géologiques (actualisme, principes de la stratigraphie, tectonique).
- Passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives.
- Mettre en relation des données de terrain avec un modèle pour l'infirmer, le conforter ou en dégager les limites.

### **Les compétences attendues**

Les compétences sont définies ici comme des aptitudes à mobiliser des ressources pour accomplir une tâche dans une famille de situations et faire face à une situation complexe ou inédite. À l'instar du référentiel européen relatif aux compétences clés<sup>1</sup>, les ressources internes à l'individu mobilisables dans le cadre de la mise en jeu d'une compétence sont un ensemble de connaissances, de capacités (ou aptitudes ou savoir-faire) et d'attitudes (ou savoir-être), dans le cadre duquel :

- les connaissances sont constituées des faits, chiffres, concepts, théories et idées qui sont déjà établis et viennent étayer la compréhension d'un certain domaine ou thème ;
- les aptitudes sont définies comme la capacité d'exécuter des processus et d'utiliser les connaissances existantes pour parvenir à des résultats ;
- les attitudes décrivent les dispositions et mentalités permettant d'agir ou de réagir face à des idées, des personnes ou des situations.

En s'appuyant sur les compétences acquises dans l'enseignement secondaire, l'enseignement de classe préparatoire constitue une étape vers le renforcement des compétences déjà travaillées et l'acquisition de nouvelles compétences qui seront développées dans les écoles<sup>2</sup>.

Les compétences à travailler en classe préparatoire sont organisées en trois grands blocs de compétences<sup>3</sup> : les compétences de la démarche scientifique (ou compétences disciplinaires), les compétences préprofessionnelles puis les compétences transversales et linguistiques. Elles sont destinées à être travaillées dans le cadre des différents types d'enseignement (cours, interrogations orales, TP, activités de terrain et TIPE), chaque professeur étant libre du choix des supports, des moments, des lieux et de la progressivité propices à cette composante de la formation. L'expression large de ces compétences tient compte des attentes exprimées par des grandes écoles recrutant sur la filière BCPST.

- **Compétences de la démarche scientifique**

Chaque champ de compétences est illustré par un ensemble de compétences et de capacités associées qui permet d'en préciser le contour, sans pour autant constituer une liste exhaustive. L'ordre de

---

<sup>1</sup> Recommandation du Conseil du 22 mai 2018 relative aux compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie.

<sup>2</sup> À titre d'exemples : référentiel national pour le diplôme vétérinaire ([décembre 2017](#)), compétences de l'ingénieur ([référentiel](#) de la commission des titres d'ingénieur CTI, 2016)

<sup>3</sup> L'organisation des compétences en trois blocs est partagée avec le référentiel de licence (2015) : <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61532/les-referentiels-de-competences-en-licence.html>

présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une activité. Dans leur grande majorité, elles sont communes à celles qui sont mises en œuvre dans d'autres enseignements scientifiques comme ceux de physique et de chimie.

Les 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. 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.

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

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

- **Compétences transversales et linguistiques**

Les SVT contribuent avec les autres disciplines de BCPST au développement de compétences transversales et linguistiques. Elles attestent d'une autonomie de travail et d'analyse, d'une capacité d'engagement dans des projets collectifs, d'une capacité de distance critique et d'une communication aisée, que ce soit par les outils mobilisés ou l'expression personnelle en français et dans au moins une langue vivante étrangère.

- Adopter un comportement éthique, déontologique et responsable.
- Coopérer et collaborer dans le cadre d'activités ou de démarches de projet, dans et hors la classe.
- Se mettre en recul d'une situation, s'auto évaluer et se remettre en question pour apprendre.
- Utiliser les outils numériques de référence et les règles de sécurité informatique pour acquérir, traiter, produire et diffuser de l'information et communiquer.
- Se servir aisément de la compréhension et de l'expression écrites et orales dans au moins une langue vivante étrangère.

- **Compétences préprofessionnelles**

La formation est aussi l'occasion d'aborder avec les étudiants des questions liées à la construction de leur projet de poursuite d'étude. La rencontre avec des professionnels, comme avec les grandes écoles est un levier de développement des compétences préprofessionnelles. Les TIPE participent du développement de ces compétences.

- Identifier les différents champs professionnels et les parcours permettant d'y accéder.
- Identifier les enjeux et contraintes des champs professionnels.

- Caractériser et valoriser ses compétences scientifiques, techniques et psychosociales (sociales, cognitives et émotionnelles) en fonction d'un contexte.

### **Les méthodes et les techniques (mises en œuvre au laboratoire et sur le terrain)**

Le tableau suivant présente les méthodes et les techniques de SVT à mettre en œuvre durant les deux années de formation de BCPST. Ce tableau est à croiser avec les objets d'étude du programme. Les éléments exposés sont mobilisables dans les épreuves de SVT des concours (écrites, pratiques et orales), précisées par les notices descriptives de chaque concours.

<b>Biologie moléculaire et cellulaire</b>
<p>Interpréter le résultat de croisements chez les organismes diploïdes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gènes indépendants ou liés ;</li> <li>- allèles récessifs, dominants ou codominants ;</li> <li>- identification des brassages génétiques.</li> </ul> <p>Exploiter des méthodes d'étude de l'organisation des génomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- réalisation et exploitation d'une électrophorèse d'ADN ;</li> <li>- réalisation et exploitation d'une comparaison de séquences à l'aide de logiciels ;</li> <li>- exploitation de données utilisant la méthode du Southern blot.</li> </ul> <p>Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude de l'expression des génomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- transgénèse, mutagenèse dirigée et aléatoire ;</li> <li>- northern blot, hybridation <i>in situ</i>, utilisation de gène rapporteur, western blot, puce à ADN, PCR et RTPCR.</li> </ul> <p>Réaliser et exploiter une électrophorèse de protéines en conditions natives.</p> <p>Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude des protéines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- chromatographie d'affinité, profil d'hydropathie, western blot, immunomarquage, électrophorèse en conditions dénaturantes.</li> </ul> <p>Exploiter des données de modélisation moléculaire.</p> <p>Réaliser et exploiter le suivi d'une réaction enzymatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- détermination des vitesses initiales, construction d'une courbe <math>v_i = f([S_0])</math> ;</li> <li>- détermination de <math>K_M</math>, <math>v_{max}</math> et de l'efficacité catalytique.</li> </ul> <p>Exploiter des données cinétiques en présence de différents types d'inhibiteurs.</p> <p>Exploiter des données permettant l'étude de communications intercellulaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ablation et greffe de groupes de cellules, application de facteurs diffusibles ;</li> <li>- enregistrements de patch-clamp, mesures de potentiel de membrane, mesure de conductance.</li> </ul>
<b>Microscopie</b>
<p>Réaliser une préparation de microscopie optique, y compris des coupes à main levée, avec ou sans coloration.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole de coloration adaptée à la problématique biologique.</p> <p>Utiliser le colorant adapté pour mettre en évidence un tissu ou des molécules.</p> <p>Réaliser une observation en microscopie optique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- objectifs et grossissement, intensité lumineuse, diaphragme, mise au point, utilisation de l'huile à immersion.</li> </ul> <p>Déterminer un ordre de grandeur ou la taille d'un objet à partir d'une échelle ou d'un grossissement.</p> <p>Identifier une technique de microscopie.</p> <p>Exploiter des clichés de microscopie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- optique, électronique, à fluorescence.</li> </ul>

<b>Étude morpho-anatomique</b>
<p>Réaliser une dissection florale :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- prélèvement de pièces et observation avec les outils adaptés ;</li> <li>- présentation des pièces florales afin de faire ressortir leur nombre, leur position relative et les soudures éventuelles.</li> </ul> <p>Réaliser une dissection animale :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mise en valeur d'un organe et de ses liens anatomiques avec d'autres organes, en les dégagant des structures les masquant ;</li> <li>- orientation de l'animal et positionnement des légendes ;</li> <li>- prélèvement de parties d'appareils ou d'organes et observation avec les outils les plus adaptés.</li> </ul>
<b>Étude cartographique</b>
<p>Utiliser une carte géologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- identification des principales structures tectoniques et des ensembles pétrologiques ;</li> <li>- reconstitution d'une histoire géologique régionale ;</li> <li>- reconstitution d'un paléoenvironnement ;</li> <li>- estimation de la vitesse d'ouverture d'un océan ;</li> <li>- identification des risques ou des ressources géologiques.</li> </ul> <p>Traduire l'exploitation d'une carte géologique sous la forme d'une coupe géologique (le profil topographique étant fourni) ou d'un schéma structural :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fidélité, mise en évidence pertinente des objets et structures géologiques et des roches, légendes, titre, échelle.</li> </ul> <p>Exploiter des données cartographiques ou des archives sédimentaires pour reconstituer des variations climatiques.</p>
<b>Géochimie et géophysique</b>
<p>Exploiter des données géochimiques pour identifier une roche ou retracer son histoire (réservoir, chemin <math>P, T=f(t)</math>, série magmatique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diagramme TAS, diagramme de Streckeisen ;</li> <li>- datation absolue (<math>^{14}C</math>, K/Ar, U/Pb) ;</li> <li>- données de microsondes, grille pétrogénétique, données de géobarométrie et géothermométrie ;</li> <li>- Calcul d'un taux de fusion, rapports isotopiques <math>^{87}Sr/^{86}Sr</math> et <math>^{143}Nd/^{144}Nd</math> et origine du magma.</li> </ul> <p>Exploiter un diagramme binaire et ternaire (fusion et cristallisation).</p> <p>Présenter le principe de modifications de pression et/ou de température d'un échantillon par presse hydraulique ou enclume à diamant et en exploiter les résultats.</p> <p>Exploiter des données sur l'altération des roches, notamment à l'aide du diagramme de Goldschmidt.</p> <p>Présenter le principe d'obtention de certaines données géophysiques et en exploiter les résultats :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sismogrammes, tomographie sismique, sismique réflexion, profil de vitesse des ondes sismiques ;</li> <li>- altimétrie satellitaire, anomalies gravimétriques (air libre et Bouguer), anomalies magnétiques, anomalies du géoïde.</li> </ul> <p>Exploiter des données utilisant des approches géophysiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sismique réflexion, mécanismes au foyer, courbes rhéologiques ;</li> <li>- données GPS, interférométrie radar, corrélation optique ;</li> </ul> <p>Réaliser un calcul d'équilibre isostatique sur un modèle simple.</p> <p>Exploiter des données de granulométrie à l'aide du diagramme de Hjulström.</p> <p>Exploiter des figures sédimentaires à l'aide d'un diagramme d'Allen fourni.</p> <p>Déterminer les caractéristiques physico-chimiques d'un sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- détermination de la granulométrie d'un sol à replacer dans un triangle des textures, mesure de la porosité du sol ;</li> <li>- mesure du pH du sol, mise en évidence des constituants de l'humus, mise en évidence de la capacité d'échange cationique (CEC) par l'utilisation d'éosine et de bleu de méthylène.</li> </ul> <p>Exploiter des données sur la structure et la dynamique des enveloppes fluides :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stratification des enveloppes fluides ;</li> <li>- transferts d'énergie et de masse ;</li> <li>- gradient de températures, de salinité, <math>\Delta^{14}C</math> des masses d'eau, distribution du dioxygène, teneur en chlorophylle.</li> </ul> <p>Exploiter des données géochimiques permettant de caractériser le climat : <math>\delta^{18}O</math>, <math>\delta^{13}C</math>.</p>

## Étude d'un objet dans son environnement

S'orienter et se localiser sur le terrain et sur une carte.

Analyser un paysage ou un affleurement :

- identification et caractérisation des unités biologiques et écologiques, des usages anthropiques et des liens entre ces unités ;
- description de l'affleurement, mise en relation des différentes composantes identifiées et de leur relation à différentes échelles ;
- application des principes de datation relative à différentes échelles ;
- interprétation par confrontation des observations et de leur analyse à des modèles ou des données.

Collecter des données sur le terrain :

- identification d'espèces, de roches et d'objets géologiques, mesure de paramètres du biotope ;
- mise en œuvre de protocole d'étude de la biodiversité ;
- Réalisation d'une étude pédologique d'un sol.

Exploiter des données de terrain à différentes échelles pour élaborer un modèle explicatif cohérent ou les relier à un modèle afin de l'infirmier, le conforter ou en dégager les limites.

Caractériser des déformations et y associer, lorsque cela est possible, des contraintes :

- ellipsoïde des déformations et des contraintes.

Compléter des bases de données ou des systèmes d'information géographique (SIG) à partir des observations de terrain.

## Identification et classification

Utiliser diverses clefs de détermination (dont des flores) et des outils numériques de détermination pour identifier un échantillon d'origine biologique ou géologique :

- sélection des critères et des caractéristiques de l'objet les plus pertinentes pour son identification ;
- choix de l'outil de détermination le plus adapté.
- utilisation d'un diagramme de Streckeisen, d'un diagramme TAS ou AFM.

Identifier une roche magmatique, métamorphique ou sédimentaire à partir d'un échantillon macroscopique ou d'une lame mince (les noms des minéraux étant fournis pour les préparations microscopiques) :

- roches magmatiques : basaltes, gabbros, andésites, diorites, rhyolites, granites, trachytes ;
- roches métamorphiques : micaschistes, gneiss, migmatites, métagabbros, amphibolites, élogites, marbres ;
- roches sédimentaires : calcaires, conglomérats, grès, argilites, marnes, halite, gypse-anhydrite, bauxite ;
- péridotites.

Identifier à l'œil nu des minéraux :

- olivine, pyroxènes, amphiboles, feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite), grenat, calcite.

Identifier quelques fossiles à partir de leurs caractéristiques :

- Trilobites, Ammonoidés, Bivalves, Gastéropodes, Foraminifères benthiques (Nummulitidés) et planctoniques (Globotruncanidés, Globigérinidés).

Identifier de manière argumentée le stade de développement embryonnaire d'un Amphibien.

Identifier de manière argumentée un organe, un tissu ou un type cellulaire :

- bactérie, cellule musculaire striée squelettique, cardiomyocyte, cellule du parenchyme palissadique, entérocytes ; neurone ;
- artère, capillaire, veine, muscle strié ;
- tissu épithélial et conjonctif ;
- épiderme, rhizoderme, xylème I et II (bois), phloème I et II (liber), parenchymes, collenchyme, sclérenchyme, méristèmes, suber, phelloderme.

Exploiter des données morpho-anatomiques ou moléculaires pour positionner un organisme dans un arbre phylogénétique ou construire une phylogénie :

- construction d'une matrice taxons-caractères ou d'une matrice des distances ;
- polarisation de caractères ;
- construction d'arbres phylogénétiques et application du principe de parcimonie.

<b>Utilisation des outils numériques</b>
<p>Utiliser un tableur informatique : construire un graphique, tracer une droite de régression linéaire, etc.), réaliser des calculs.</p> <p>Utiliser un logiciel de modélisation : choix des paramètres pour répondre au problème posé.</p> <p>Utiliser une base de données.</p> <p>Exploiter les données d'un système d'information géographique (SIG) ou des modèles numériques de terrains (MNT).</p>
<b>Présentation des résultats</b>
<p>Réaliser un dessin d'observation avec les conventions usuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fidélité, sélection des structures pertinentes, légendes, titre, échelle, orientations.</li> </ul> <p>Réaliser un schéma avec figurés conventionnels (les figurés restant à la disposition des étudiants).</p> <p>Réaliser un diagramme et/ou une formule florale.</p> <p>Représenter des pyramides de productions de biomasse.</p> <p>Représenter les données sous forme graphique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- choix des axes, échelle pertinente, titre, unités.</li> </ul> <p>Présenter de manière pertinente un objet biologique (coupe, prélèvement et montage, annotation, présentation comparative, schéma, dessin, échelle).</p> <p>Présenter de manière pertinente un objet géologique à toutes les échelles (dessin, schéma, description, identification, présentation comparative, ellipsoïde des déformations, échelle...).</p> <p>Présenter sous une forme pertinente des observations de terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- photographie géolocalisée, film, dessin, schéma, texte, carte.</li> </ul>

## THÉMATIQUE « SCIENCES DE LA VIE »

<p><b>SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement (BCPST 1 et 2)</b></p> <p>Cette partie vise à présenter l'organisation du vivant (appareils, organes, tissus, ...) et les grandes fonctions qui lui sont associées ainsi que des interrelations entre ces organismes et leur environnement. Le concept d'organisme pluricellulaire est abordé à partir de deux exemples (un Vertébré phytophage Bovidé, la vache, et une Angiosperme Fabacée) et est enrichi par l'étude d'une plus grande diversité d'organismes dans le cadre des travaux pratiques. L'étude des organismes en interaction avec leur environnement est complétée par l'étude des organismes unicellulaires et de leur diversité.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<p><b>SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé (BCPST 1)</b></p>	
<p>Les vaches appartiennent au groupe des Métazoaires et à la famille des Bovidés.</p> <p>Les différents appareils de l'organisme sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation.</p> <p>Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie.</p> <p>La compartimentation de l'appareil digestif permet l'ingestion d'aliments (hétérotrophie), leur simplification en nutriments et leur absorption, ainsi que l'égestion de la matière non absorbée.</p> <p>Le microbiote du rumen par son action joue un rôle majeur dans l'origine des nutriments utilisés par la vache.</p> <p>Les nutriments sont distribués dans l'ensemble de l'organisme par l'appareil circulatoire et entrent ainsi dans le métabolisme cellulaire.</p> <p>L'appareil respiratoire assure les échanges gazeux liés au métabolisme énergétique aérobie.</p> <p>L'appareil excréteur élimine les déchets azotés et contribue à l'équilibre hydrominéral de l'organisme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique des Métazoaires.</li>   <li>- Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition.</li> <li>- Argumenter la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils.</li>   <li>- Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les caractéristiques anatomo-physiologiques liées à l'adaptation au milieu aérien sont présentées succinctement pour les appareils respiratoire, excréteur, reproducteur et pour des organes liés à la fonction de relation.</i></p> <p><i>Les composition et contribution du microbiote de la vache sont limitées à celui du rumen. Le fonctionnement du néphron n'est pas au programme.</i></p>	
<p>L'appareil reproducteur est le lieu de production des gamètes (méiose et différenciation) et de sécrétion d'hormones. C'est également le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel.</p> <p>La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité permet la sélection.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>La sélection artificielle sera illustrée à partir d'un seul exemple, sans traiter la diversité des modes de sélection.</i></p> <p><i>L'existence d'un contrôle hormonal de la reproduction est seulement mentionnée pour la production des gamètes et la gestation.</i></p>	
<p>L'organisme est en interaction avec son environnement biotique et abiotique.</p> <p>La vache est incluse dans différents systèmes de relations intraspécifiques et interspécifiques (dont les</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différencier et illustrer les différents types de relations interspécifiques impliquant la vache.</li> </ul>

<p>relations avec l'être humain responsable de la domestication des animaux d'élevage). Les relations interspécifiques avec les microorganismes définissent l'organisme comme un holobionte.</p>	
<p>La survie individuelle des organismes dépend de leur perception du milieu et de leur capacité de réaction et/ou de leurs systèmes de protection. Les informations perçues par les récepteurs sensoriels sont intégrées au niveau du système nerveux central qui élabore des réponses. Le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus met en jeu son squelette et les muscles striés associés. Le tégument joue un rôle d'isolant thermique et de barrière contre les agents pathogènes et les parasites. Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent une réponse de l'organisme. Une boucle de régulation permet le retour à une valeur de consigne d'un paramètre physiologique suite à la détection de ses variations par des récepteurs, au traitement et à l'intégration de l'information conduisant à une réponse coordonnée liée à des effets sur des organes cibles (effecteurs).</p>	<p>- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Aucune description d'aire sensorielle spécialisée n'est exigible.</i> <i>On remobilise le concept de boucle de régulation abordé en spécialité SVT de terminale, à partir d'un seul exemple (régulation de la glycémie, mais sans développer les mécanismes cellulaires et moléculaires).</i></p>	
<p>Le fonctionnement de tous les Métazoaires repose sur les mêmes grandes fonctions réalisées par des structures similaires ou non suivant les taxons. Des structures réalisant la même fonction dans deux organismes différents peuvent être homologues ou convergentes. Des convergences marquent l'adaptation des organismes à leur milieu et leur mode de vie.</p>	<p>- Réaliser l'observation morphologique et la dissection :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• d'un Vertébré Mammifère Rongeur (la souris) ;</li> <li>• d'un Vertébré Téléostéen ;</li> <li>• d'un Arthropode Hexapode (le criquet) ;</li> <li>• d'un Mollusque Bivalve (la moule).</li> </ul> <p>- Utiliser des caractéristiques morphologiques et anatomiques pour déterminer la position systématique de l'animal. - Mettre en lien les structures morphologiques et anatomiques observées sur les Métazoaires disséqués avec les fonctions de relation, nutrition (s.l.) et reproduction. - Comparer l'organisation morphologique et anatomique des différents Métazoaires étudiés. - Identifier des organes homologues ou convergents. - Identifier sur des coupes histologiques et légèrer sur des clichés de microscopie électronique les principaux tissus des appareils respiratoire, digestif et du tégument. - Formuler des hypothèses concernant les adaptations morpho-anatomiques au milieu de vie.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On se limite aux fonctions dont les structures associées sont observables en travaux pratiques.</i> <i>Pour les dissections de Métazoaires citées, seuls sont au programme les appareils suivants :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Souris : appareils cardiovasculaire, respiratoire, digestif, uro-génital.</i></li> <li>• <i>Vertébré Téléostéen : appareils digestifs, cardiovasculaire, respiratoire et reproducteur.</i></li> <li>• <i>Arthropode Hexapode : appareils digestif (pièces buccales incluses) et respiratoire (système trachéen).</i></li> <li>• <i>Mollusque Bivalve : appareils respiratoire et reproducteur.</i></li> </ul>	

À l'échelle microscopique, l'étude de l'adaptation au milieu et au mode de vie est centrée sur l'appareil respiratoire et le tégument. Pour l'appareil digestif, seules les coupes histologiques de l'intestin de Mammifère sont au programme.

**Liens :**

- Organisation fonctionnelle des appareils respiratoires et relation au milieu (SV-B-1)
- Organisation fonctionnelle de l'intestin de Mammifère (SV-C-1)
- Approvisionnement en matière organique des organismes hétérotrophes (SV-E-1)
- Catabolisme des nutriments (SV-E-2)
- Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-F-4)
- Gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères (SV-G-3)
- Relations structure – fonction des organes de l'appareil cardio-vasculaire (SV-I-1)
- Boucle de régulation (pression artérielle) et adaptation à l'exercice physique (SV-I-1)
- Modalités des communications intercellulaires (SV-I-2)
- Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2)
- Interactions trophiques dans les écosystèmes (SV-J-2-3)
- Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-K-2-2)

**SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (BCPST 1)**

Les Fabacées appartiennent au groupe des Embryophytes.  
Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction.  
Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie.  
Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à la plante de prélever la matière minérale et de convertir l'énergie lumineuse en énergie potentielle chimique nécessaire à la production de matière organique (autotrophie). Les organes « sources » coopèrent avec les organes « puits ».

- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une Fabacée au sein d'une classification phylogénétique d'Embryophytes.
- À partir d'observations en classe et sur le terrain, distinguer les différents organes de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur d'une Angiosperme.
- Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle des différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien.
- Caractériser le développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle biologique et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ».
- Construire un schéma fonctionnel synthétique de la plante.

L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique.  
L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les facteurs anisotropes du milieu orientent la croissance de l'appareil végétatif.  
Les rythmes saisonniers conditionnent les différentes étapes du cycle de reproduction (floraison, pollinisation, fructification, vie ralentie des graines).  
La plante est impliquée dans différents systèmes de relations intra et interspécifiques. La symbiose Fabacée et bactérie *Rhizobium*, fixatrice d'azote dans les nodosités, augmente la biomasse de la Fabacée.

- Exploiter des résultats expérimentaux montrant le lien entre les anisotropies du milieu et les tropismes dans le cadre du gravitropisme.
- Placer sur un cycle de reproduction les paramètres du milieu exerçant une influence et/ou un contrôle prédominant sur une étape de la vie de la plante.
- Illustrer les principales relations interspécifiques entre une Angiosperme et des organismes de son milieu.

**Précisions et limites :**

*Le fonctionnement détaillé des méristèmes est vu dans la partie SV-B-3. À ce stade on se limite à localiser les méristèmes. Les mécanismes cellulaires et moléculaires des tropismes ne sont pas exigibles. Les connaissances de terminale sur les plantes à fleur sont remobilisées.*

Les végétaux sont des producteurs primaires et constituent des ressources alimentaires à la base des réseaux trophiques. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à la sélection par l'être humain en relation avec la diversification des usages.

- Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation).

**Liens :**

- Type trophique de *Rhizobium* (SV-A-3)
- Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (SV-B-2)
- Développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes (SV-B-3)
- Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-C-1)
- Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1)
- Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-E-1)

Devenir de la matière organique (SV-E-2)  
 Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-F-4)  
 Reproduction sexuée des Embryophytes (SV-G-1)  
 Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2)  
 Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-K-2-2)  
 Différentes formes d'azote et cycle de l'azote (BG-A-2)  
 Les sols (BG-B)  
 Activités de terrain

### SV-A-3 Regards sur les organismes unicellulaires (BCPST 2)

Les organismes unicellulaires appartiennent à différentes branches de l'arbre du vivant. Leur organisation (procaryote ou eucaryote) recouvre une grande diversité de morphologies et de cytologies. Les organismes unicellulaires assurent l'ensemble des fonctions (nutrition, relation, reproduction) au niveau d'une seule cellule. Les unicellulaires ont des vies libres ou sont regroupés au sein de biofilms dans lesquels ils sont en interactions. Les organismes unicellulaires sont aussi en interactions interspécifiques avec des organismes pluricellulaires. Les types trophiques (photolithotrophie, chimiolithotrophie, chimoorganotrophie) très divers rencontrés chez les unicellulaires sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes en particulier pour l'assimilation et le recyclage de la matière. Les variations du milieu extérieur modifient le fonctionnement cellulaire en particulier l'expression génétique des opérons bactériens (ex. : opéron lactose chez *Escherichia coli*).

- Exploiter des arbres phylogénétiques pour discuter :
  - du caractère ancestral de l'état unicellulaire ;
  - de l'existence de réversions ;
  - de la paraphylie des Eucaryotes unicellulaires.
- Identifier la diversité des organisations unicellulaires (paroi, compartimentation, polarité, cils ou flagelles, etc.) pour positionner les microorganismes dans un arbre phylogénétique à l'aide de :
  - préparations microscopiques (colorées ou non) fraîches ou du commerce ;
  - clichés de microscopie optique et électronique.
- Conduire l'analyse macroscopique et microscopique d'un biofilm (*Nostoc*).
- Illustrer la diversité des modes trophiques : autotrophie, hétérotrophie (associée à de la phagotrophie, de l'absorbotrophie, de l'exodigestion) à l'aide des exemples vus en travaux pratiques.
- Identifier un type trophique en fonction de l'origine de l'énergie, la nature des donneurs et des accepteurs d'électron.
- Expliquer comment le double contrôle de l'opéron lactose constitue une réponse physiologique de la bactérie à la disponibilité des ressources du milieu.

#### Précisions et limites :

Les organismes étudiés dans cette partie ou d'autres parties du programme sont le support de cette étude sur les unicellulaires : *E.coli*, *Nitrobacter sp.*, *Rhizobium sp.*, *Saccharomyces cerevisiae*, paramécies, diatomées, *Chlamydomonas sp.*, *Trypanosoma sp.*, *Plasmodium sp.*  
 Colorations utilisables mises en œuvre par les étudiants : Gram, lugol, rouge neutre, vert de méthyle.  
 Une séance de travaux pratiques est mixte avec le thème portant sur la phylogénie.  
 Les exemples d'interactions unicellulaires – pluricellulaires sont restreints aux exemples développés dans d'autres parties du programme.  
 Les études expérimentales qui portent sur l'opéron lactose ne sont pas exigibles.

#### Liens :

Interactions entre la vache et son microbiote (rumen) (SV-A-1)  
 Interactions entre une Fabacée et des bactéries symbiotiques du genre *Rhizobium* (SV-A-2 et SV-C-1)  
 Types trophiques et voies métaboliques associées (SV-E-1 et SV-E-2)  
 Modalités de l'expression génétique (SV-F-2) et de son contrôle (SV-F-3)  
 Implication des organismes unicellulaires dans les relations interspécifiques (SV-J-2-2)  
 Rôle des micro-organismes dans la production et le recyclage de la matière au sein d'un écosystème (SV-J-2-3).  
 Étude de l'arbre du vivant (SV-K-2-2)  
 Cycles du carbone et de l'azote : rôle des microorganismes dans le bouclage des cycles du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)  
 Formation (BG-B-1-1) et dynamique (BG-B-1-3) d'un sol  
 Microorganismes planctoniques (ST-E-2)

## SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie (BCPST 1 et 2)

L'étude de la respiration chez les Métazoaires et l'étude de la nutrition et du développement post-embryonnaire chez les Angiospermes sont l'occasion de présenter les interactions étroites entre les organismes et leur environnement, biotique et abiotique, et de caractériser des adaptations anatomiques, morphologiques ou physiologiques, observables à différentes échelles.

La fonction de respiration permet d'envisager les échanges gazeux entre l'organisme et son milieu de vie en relation avec les besoins physiologiques. Dans des milieux de vie comparables, on identifie des homologies et des convergences dans l'organisation des différentes structures.

L'analyse du fonctionnement et du développement d'un Angiosperme se construit autour de plusieurs problématiques.

L'organisme fixé, vivant à l'interface entre sol et atmosphère, puise ses ressources dans ces deux environnements assurant ainsi sa nutrition. Des corrélations trophiques et hormonales au sein de l'organisme assurent le fonctionnement intégré du végétal, en relation avec le rythme saisonnier en régions tempérées.

Les spécificités du développement végétatif et reproducteur des Angiospermes, en particulier la plasticité phénotypique, sont également à mettre en relation avec leur mode de vie fixée et l'intégration de signaux environnementaux. Certaines de ces adaptations rendent compte de convergence ou de régression évolutive entre les taxons.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### SV-B-1 La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu (BCPST 1)

Les échanges respiratoires des Métazoaires sont réalisés au niveau de surfaces d'échange (spécialisées ou non), en lien avec les contraintes du milieu de vie. Les surfaces respiratoires spécialisées sont relativement étendues, fines, et en lien avec des dispositifs de renouvellement des fluides. Les échanges de gaz respiratoires se réalisent par diffusion simple, suivant la loi de Fick. Dans le même milieu, pour des organisations différentes, des convergences fonctionnelles sont liées aux contraintes physico-chimiques du milieu de vie (aquatique ou aérien). La convection externe et la convection interne des fluides maintiennent les différences de pression partielle à travers l'échangeur. L'efficacité de l'extraction de dioxygène varie suivant les milieux et les taxons.

- À partir des dissections de Mammifère (la souris), de Téléostéen, d'Hexapode (le criquet) et de Mollusque Bivalve (la moule) :

- dégager les grands traits de l'organisation des surfaces d'échanges respiratoires ;
- relier les structures observables avec les modalités de renouvellement des fluides de part et d'autre des surfaces respiratoires observées ;
- mettre en relation l'organisation des surfaces observées et les paramètres du milieu ;
- repérer les homologies et les convergences dans l'organisation de ces différentes structures.

- À partir de l'observation de préparations microscopiques ou de clichés d'histologie : identifier les caractéristiques structurales, à toutes les échelles, qui optimisent les échanges gazeux dans ces structures respiratoires ;

#### Précisions et limites :

*Les séances de TP « organisation fonctionnelle des Métazoaires » permettent d'envisager l'étude pratique de la fonction respiratoire. Les mécanismes de contrôle de la ventilation ne sont pas au programme.*

L'hémoglobine est une molécule de transport des gaz respiratoires qui est présente dans les hématies de Mammifère. La quantité de transporteurs limite la quantité de dioxygène transportée et l'activité de l'organisme. La modulation de la quantité de gaz échangés passe essentiellement par des variations contrôlées de la convection.

- Relier les propriétés de coopérativité de l'hémoglobine à ses capacités de fixation ou de relargage du dioxygène suivant les conditions locales.

- Exploiter la courbe de saturation de l'hémoglobine et la mettre en lien avec les conditions physiologiques régnant dans les poumons et les autres tissus.

- Expliquer l'action de différents paramètres sur le relargage tissulaire et la prise en charge pulmonaire du dioxygène par l'hémoglobine : teneur du sang en CO<sub>2</sub>, teneur en 2,3 BPG des hématies, pH sanguin et température. Les relier aux conditions physiologiques.

#### Précisions et limites :

*La seule molécule étudiée pour le transport de dioxygène est l'hémoglobine de Mammifère. Les mécanismes de l'érythropoïèse et de son contrôle sont hors programme.*

<p><b>Liens :</b> Appareil respiratoire d'un Bovidé (SV-A-1) Echanges membranaires des gaz respiratoires (SV-C-3) Conformation d'une protéine et interaction avec son ligand (SV-D-2-4)</p>	
<p><b>SV-B-2 Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (BCPST 1)</b></p>	
<p><b>SV-B-2-1 Absorption d'eau et d'ions dans le milieu de vie</b></p>	
<p>La plante prélève la solution du sol par une absorption racinaire sélective d'eau et d'ions minéraux mettant en action des échanges transmembranaires. Cette absorption s'effectue soit directement à partir de la solution du sol par des poils absorbants soit, le plus souvent, grâce au fonctionnement de mycorhizes. Les mycètes impliqués dans ces associations symbiotiques augmentent la surface d'absorption mais assurent aussi une protection physico-chimique contre les agents pathogènes. L'absorption de l'eau suit les différences de potentiel hydrique dans la racine. Il existe des voies de circulation symplasmique et apoplasmique. L'absorption d'eau et d'ions est à l'origine de la sève brute qui circule dans le xylème. La transpiration foliaire et la poussée racinaire constituent deux moteurs complémentaires d'ascension de la sève brute.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en lien les caractéristiques cellulaires des poils absorbants avec leur rôle.</li> <li>- Caractériser les différentes modalités des échanges transmembranaires permettant l'absorption de la solution du sol.</li> <li>- Estimer le sens et l'intensité des flux d'eau et d'ions à partir de valeurs de potentiel hydrique et de potentiel électrochimique.</li> <li>- Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques (colorées au carmino-vert ou bleu coton-lactique) pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier les caractéristiques structurales des ecto mycorhizes et endomycorhizes ;</li> <li>• repérer les différents tissus traversés par la solution hydrominérale dans une racine ;</li> <li>• identifier les tissus conducteurs dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille.</li> </ul> </li> <li>- Identifier dans une coupe d'organe végétatif d'Angiosperme les principaux tissus et relier leur structure avec leur fonction.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>L'étude anatomique se base sur des coupes transversales de limbe de feuille et des coupes transversales et longitudinales de tiges et racines.</i> <i>La reconnaissance des tissus sur les coupes microscopiques colorées au carmino-vert concerne : les parenchymes (chlorophyllien et de réserve), le xylème, le phloème, l'épiderme, le rhizoderme, l'endoderme, le sclérenchyme, le collenchyme et les méristèmes.</i> <i>L'identification des organes et de la position systématique à partir de préparations microscopiques s'appuie sur une clef de détermination simple.</i> <i>Seul le fonctionnement général d'une mycorhize est à connaître, aucun mécanisme moléculaire n'est exigible. Pour les endomycorhizes, on se limite à l'observation des structures arbusculaires.</i> <i>L'étude anatomique se poursuit en BCPST 2 lors de séances portant sur le développement et les adaptations au milieu de vie.</i></p>	
<p><b>SV-B-2-2 Échanges gazeux avec le milieu de vie</b></p>	
<p>Les stomates permettent un flux d'eau par transpiration, qui met en mouvement la sève brute dans le xylème, ainsi que les échanges de CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> entre l'atmosphère externe et l'atmosphère interne du végétal. L'ouverture des stomates est contrôlée par différents facteurs du milieu : elle joue à la fois sur l'équilibre hydrique du végétal et sur son métabolisme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier les espaces de circulation des gaz (stomates, chambres sous-stomatiques et méats/lacunes) ;</li> <li>• relier la localisation et la répartition des stomates avec l'orientation de la feuille.</li> </ul> </li> <li>- Expliquer le lien entre l'ouverture des stomates et la montée de la sève brute.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On mentionne l'existence d'un relai hormonal dans le contrôle de l'ouverture/fermeture des stomates (acide abscissique, ABA). Cependant les mécanismes moléculaires du contrôle de l'ouverture des stomates sont hors programme.</i></p>	
<p><b>SV-B-2-3 Distribution des assimilats photosynthétiques au sein du végétal</b></p>	
<p>Les photosynthétats produits dans les organes sources sont distribués dans les organes puits via la sève élaborée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille (colorées au carmino-vert) pour :</li> </ul>

<p>Les organes de réserve sont des organes puits/sources qui accumulent la matière organique. Les réserves sont accumulées/mobilisées avec une périodicité variable, quotidienne et/ou saisonnière.</p> <p>Au sein des nodosités développées dans l'appareil racinaire de Fabacée, des bactéries symbiotiques utilisant les assimilats de la plante sont capables d'utiliser le diazote et de le réduire en ammonium. Les cellules racinaires contenant les bactéroïdes produisent des molécules organiques azotées exportées dans le xylème.</p> <p>La formation de nodosités dépend de la fertilité du sol.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier le phloème dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille ;</li> <li>• identifier les structures de réserve d'un organe végétatif au choix à l'échelle de l'organe, de la cellule, des molécules ;</li> <li>• mettre en évidence des réserves amylacées ;</li> </ul> <p>- En prenant appui sur des coupes de nodosité, présenter l'organisation fonctionnelle de celle-ci.</p> <p>- Exploiter des données expérimentales afin d'identifier des mécanismes de contrôle de développement de nodosités suivant les teneurs en nitrates et ammonium dans le sol.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les mécanismes de charge du phloème sont hors programme. Les mécanismes de couplage entre la circulation de la sève brute et de la sève élaborée sont hors programme. Les tissus secondaires des organes de réserve sont juste cités dans cette partie avant d'être décrits plus précisément en BCPST 2.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Organisation générale fonctionnelle d'une Fabacée (SV-A-2)</p> <p>Organisation fonctionnelle de Rhizobium (SV-A-3)</p> <p>Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-C-1)</p> <p>Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1)</p> <p>Transferts transmembranaires de l'eau et des solutés (SV-C-3)</p> <p>Propriétés de l'eau (SV-D-1)</p> <p>Oses, saccharose et polyosides (SV-D-2-2)</p> <p>Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-E-1)</p> <p>Devenir de la matière organique (SV-E-2)</p> <p>Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2)</p> <p>Solution du sol (BG-B-1)</p> <p>Cycles biogéochimiques de l'azote et du carbone (BG-A-1 et BG-A-2)</p> <p>Activités de terrain</p>	
<p><b>SV-B-3 Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique (BCPST 2)</b></p>	
<p><b>SV-B-3-1 Développement végétatif à l'interface sol/air</b></p>	
<p>Les zones apicales comprennent des zones de division (mérèse) et de croissance cellulaire (auxèse). Elles contribuent à édifier l'axe racine-tige feuillée.</p> <p>Le méristème apical caulinaire est organogène et histogène. Son fonctionnement cyclique et itératif assure une croissance indéfinie de l'axe aérien. L'axe aérien est ainsi formé par une succession de phytomères. Le méristème apical caulinaire détermine aussi la position des différents organes aériens.</p> <p>Les cellules issues de la zone méristématique subissent généralement une croissance importante : l'auxèse. Cette dernière est contrôlée par l'auxine, une phytohormone. Elle provoque l'augmentation de la plasticité pariétale par acidification et l'accroissement du volume cellulaire par osmose.</p> <p>Dans un second temps, l'auxine contrôle la mise en place de nouveaux composants pariétaux.</p> <p>Les voies de différenciation cellulaire génèrent une diversité de tissus en affectant le contenu cytoplasmique et la structure pariétale des cellules. Les méristèmes secondaires se forment au sein des structures primaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les zones de croissance apicales d'une Angiosperme à l'échelle de l'organisme, des organes et des tissus.</li> <li>- Relier le fonctionnement du méristème apical caulinaire, avec le développement indéfini de la tige feuillée.</li> <li>- Estimer sur un rameau le nombre d'unités de végétation.</li> <li>- Exploiter des données expérimentales montrant le mode d'action à l'échelle cellulaire de l'auxine.</li> <li>- Comparer une cellule méristématique et une cellule différenciée (élément conducteur de xylème).</li> <li>- Réaliser des coupes transversales colorées de tiges et de racines avec des structures secondaires et identifier les différents tissus secondaires (bois, liber, suber, phelloderme).</li> </ul>

<p>Le cambium produit des tissus secondaires (bois et liber) épaississant l'organe dans lequel ils se développent.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Aucune donnée sur le contrôle du fonctionnement du méristème apical caulinaire n'est exigible.  La voie de transduction de l'auxine et les mécanismes moléculaires de son transport ne sont pas au programme.  Aucun mécanisme de différenciation cellulaire n'est étudié. On se limite à constater la diversité des cellules observables sur une coupe anatomique.</i></p>	
<p><b>SV-B-3-2 Développement de l'appareil reproducteur</b></p>	
<p>Le développement reproductif met en place la fleur par transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur, inflorescentiel ou floral.  Le développement floral est notamment contrôlé par des gènes impliqués dans des activations en cascade. L'identité des organes floraux est déterminée par la combinaison d'expression de gènes homéotiques (modèle ABCDE).</p>	<p>- Exploiter des données afin de déterminer le caractère homéotique de certains gènes contrôlant l'identité des organes floraux.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Seul le modèle ABCDE chez Arabidopsis thaliana est présenté. La nomenclature des gènes impliqués n'est pas exigible.</i></p>	
<p><b>SV-B-3-3 Adaptations et plasticité phénotypique</b></p>	
<p>Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre.  Certaines de ces adaptations témoignent de convergences évolutives entre taxons phylogénétiquement éloignés ou de régression évolutive.  D'autres variations morphologiques, anatomiques et physiologiques au sein d'une même espèce sont sous la dépendance de facteurs du milieu au cours de leur développement. On parle d'accommodation.  Des facteurs abiotiques tels que les variations météorologiques au cours d'une année et entre les années influencent le développement végétatif (exemple de la production saisonnière du bois) et/ou reproducteur (exemple de la floraison).  Des facteurs biotiques tels que des bactéries ou des mycètes influent sur le développement de la plante (formation de nodosités ou de mycorhizes), et participent à la nutrition d'un organisme à vie fixée. Un dialogue moléculaire entre la plante et un autre organisme permet la formation d'une structure chimérique impliquée dans la nutrition.</p>	<p>- Mettre en relation les modifications morpho-anatomiques observées sur des végétaux vivant en milieu sec (sclérophytes et malacophytes) ou aquatique avec les contraintes spécifiques liées aux conditions de milieu.  - Discuter, à partir d'exemples, des convergences ou des régressions évolutives liées à des caractéristiques morpho-anatomiques.  - Différencier adaptation et accommodation à partir d'exemples et leur mécanisme d'origine.  - Mettre en relation le développement indéfini de l'appareil végétatif des Angiospermes avec un mécanisme d'accommodation : exemple des feuilles d'ombre et de lumière  - Identifier le bois de printemps et le bois d'été formant les cernes du bois à l'échelle macroscopique et/ou microscopique  - Exploiter des données pour montrer l'influence de la température (vernalisation) et de la lumière (photopériodisme) sur l'induction florale.  - Présenter un modèle de contrôle épigénétique impliquant le gène FLC reliant les facteurs abiotiques et la floraison (organes percepteurs, relais hormonaux, gènes impliqués).</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>L'existence d'hormones intervenant dans la floraison est simplement mentionnée sans aucune modalité d'action exigible. Aucun développement des mécanismes moléculaires de formation des mycorhizes et des nodosités n'est attendu.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Développement végétatif et cycle de reproduction en milieu aérien ; interactions d'une plante avec son environnement abiotique (tropismes) et biotique (nodosité, mycorhize) (SV-A-2)  Organisation anatomique et histologique des organes végétatifs (SV-B-2)  Spécialisation des matrices extracellulaires (SV-C-1)  Cycle cellulaire, mitose (SV-F-1-2)  Organisation structurale d'un facteur de transcription, contrôle épigénétique du gène FLC (SV-F-3)  Organisation et fonction de la fleur (SV-G-1)  Modalités du développement animal, caractéristiques des gènes homéotiques (SV-H)</p>	

Modalités d'action des hormones chez les Métazoaires(SV-I-2)  
 Notion d'adaptation (SV-K-1) et notion de convergences et de régressions évolutives (SV-K-2)  
 Adaptation au changement climatique (BG-C-3-3)

## SV-C La cellule dans son environnement (BCPST 1)

La cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant. L'objectif est de présenter les grands traits de l'organisation d'une cellule (membranes, compartiments cellulaires, cytosquelette) et de la matrice extracellulaire qui l'entoure, en envisageant leurs aspects dynamiques afin de faire émerger les grandes lignes de leur fonctionnement. L'organisation fonctionnelle des cellules est abordée avec un nombre limité d'exemples, préférentiellement l'entérocyte de Mammifères, la cellule du parenchyme palissadique d'une Angiosperme et une bactérie Gram - (*E. coli*, *Rhizobium sp.*). L'objectif n'est pas de réaliser une monographie à partir de chaque exemple proposé mais de les utiliser comme support pour illustrer le concept de cellule tout en montrant une diversité d'organisation et de fonctionnement, sans toutefois chercher l'exhaustivité des particularités de chaque type cellulaire. Cette vision d'ensemble est complétée par les autres parties concernant le métabolisme énergétique (SV-E) et la génomique structurale et fonctionnelle (SV-F). Ces trois parties s'appuient sur les fondamentaux abordés dans la partie sur les biomolécules (SV-D). *In fine*, cet ensemble offre une vision intégrée de l'organisation fonctionnelle de la cellule dans son « milieu », qu'il s'agisse d'un organisme unicellulaire ou pluricellulaire.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme

L'état pluricellulaire peut être décrit à différentes échelles : tissu, organe, appareil et individu. Différentes techniques de microscopie (optique, à épifluorescence et électronique -MEB et MET-) permettent d'étudier l'organisation des cellules et des tissus.

- Illustrer les différentes échelles en utilisant l'entérocyte et la cellule du parenchyme palissadique.
- Comparer les techniques de microscopie (types d'objets observés, taille des structures observées, domaines d'application).
- Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (divers types cellulaires).
- Exploiter une coupe d'intestin de Mammifère et une coupe transversale de feuille d'Angiosperme pour identifier les principaux types de tissus et préciser les relations structure-fonction.

#### Précisions et limites :

*Les principes généraux et les objectifs des différentes techniques de microscopie sont à connaître. Le détail du traitement des échantillons pour la microscopie n'est pas à mémoriser.*

*La technique de microscopie confocale et ses dérivés ne sont pas à connaître.*

*Les ordres de grandeur à connaître se limitent aux types cellulaires étudiés dans les différentes parties du programme.*

Les jonctions et les interactions cellule-matrice assurent la cohésion et participent à la communication entre cellules animales. Pour les Angiospermes, ces fonctions sont assurées par la paroi et les plasmodesmes. Les matrices extracellulaires présentent une structure en réseau dont l'organisation et la composition varient en fonction des organismes et des tissus. Les matrices extracellulaires peuvent être rigidifiées notamment par une imprégnation de lignine ou de substances minérales.

- Identifier les principaux types de jonctions intercellulaires sur des clichés de microscopie électronique.
- Schématiser l'organisation moléculaire en réseau des matrices extracellulaires animales d'un tissu conjonctif et d'un tissu épithélial et celle d'une paroi pectocellulosique.

<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On limite les matrices extracellulaires animales au cas des Mammifères et les matrices extracellulaires végétales à la paroi (primaire et secondaire) des Angiospermes. Pour les processus de synthèse des constituants des matrices extracellulaires, on se limite à l'exemple de la cellulose de la paroi végétale.</i></p>	
<p>Certaines cellules d'un organisme pluricellulaire eucaryote interagissent (échanges de matière et d'information) avec d'autres organismes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les partenaires d'une association interspécifique impliquant des microorganismes par observation microscopique (microbiote intestinal, nodosité).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On se limite à l'exemple du contact entre E. coli et l'épithélium intestinal et au cas des microorganismes de la rhizosphère (Rhizobium).</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Vue d'ensemble sur un organisme animal et végétal et sur les organismes unicellulaires (SV-A)  Diversité des tissus des Métazoaires et des Angiospermes (SV-B et SV-H)  Organisation du cytosquelette (SV-C-2)  Polyosides, protéines (SV-D-2)  Modalités de la communication intercellulaire (SV-I)  Les sols (BG-B)</p>	
<p><b>SV-C-2 Organisation fonctionnelle de la cellule</b></p>	
<p>La cellule eucaryote est compartimentée, ce qui entraîne une régionalisation des fonctions et une coopération des compartiments dans le fonctionnement cellulaire.  Le support de l'information génétique est présent dans plusieurs compartiments cellulaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discuter des intérêts et contraintes de la compartimentation dans le fonctionnement cellulaire.</li> <li>- Illustrer la diversité structurale et fonctionnelle des compartiments sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique.</li> <li>- Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (membranes, organites...).</li> <li>- À l'aide de différentes techniques microscopiques, reconnaître les ultrastructures cellulaires eucaryotes : noyau, membranes, mitochondrie, chloroplaste, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, lysosome, vésicules de sécrétion, eu/hétérochromatine, nucléole.</li> <li>- Réaliser des colorations afin de mettre en évidence différentes structures cellulaires au microscope optique.</li> </ul>
<p>La cellule bactérienne contient un chromosome unique circulaire et éventuellement des plasmides. Elle est délimitée par une ou deux membranes et une paroi de peptidoglycanes. Son cytoplasme est souvent peu compartimenté.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schématiser l'ultrastructure d'une bactérie.</li> <li>- À l'aide de techniques de microscopie, reconnaître les principales caractéristiques ultrastructurales d'une bactérie.</li> <li>- Réaliser une coloration de Gram afin d'identifier la nature Gram + ou Gram – d'une bactérie.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les colorations usuelles réalisées en BCPST sont : coloration de Gram, carmino-vert de mirande, rouge neutre, bleu coton lactique, vert de méthyle, pyronine, lugol. Le principe de la coloration est connu mais le protocole n'est pas à mémoriser. Pour les peptidoglycanes, le détail des monomères est hors programme.</i></p>	
<p>Les cellules possèdent un squelette interne dynamique : le cytosquelette.  Chez les cellules eucaryotes, il est constitué de trois catégories de structures protéiques fibrillaires : les microfilaments d'actine, les microtubules de tubuline et les filaments intermédiaires.  Le cytosquelette des bactéries présente des protéines homologues à celui des cellules eucaryotes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Illustrer les rôles du cytosquelette sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique (par exemple : association aux jonctions, structuration de l'enveloppe nucléaire, structuration des microvillosités, flux vésiculaires, cyclose des chloroplastes).</li> </ul>

**Précisions et limites :**

Seul le cytosquelette d'une cellule eucaryote est présenté avec le détail des structures moléculaires.

Les cellules sont traversées par des flux de matière, d'énergie et d'information.  
Chez les Eucaryotes, une partie de ces flux transite par la membrane plasmique ou les systèmes endomembranaires. Ceci met en évidence la coopération fonctionnelle entre les compartiments.

- Argumenter l'existence de trois types de flux à l'aide des exemples de l'entérocyte, de la cellule du parenchyme palissadique et de *E. coli*.
- Illustrer la coopération fonctionnelle entre les compartiments.

**Précisions et limites :**

On mentionne les différents flux, les modalités précises sont développées dans la partie SV-C-3.

Liens :  
Organisation morphologique et cytologique des organismes unicellulaires et contrôle de l'expression génétique des bactéries (SV-A-3)  
Organisation des jonctions intercellulaires (SV-C-1)  
Flux vésiculaires (SV-C-3)  
Divisions cellulaires (SV-F-1-2)  
Cytosquelette et croissance du tube pollinique (SV-G-1)  
Organisation fonctionnelle du cytosquelette du spermatozoïde (SV-G-3)  
Migration cellulaire au cours du développement animal (SV-H)  
Organisation fonctionnelle d'un neurone (SV-I-2)

**SV-C-3 Membranes et échanges membranaires**

Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité reposent sur l'organisation de la membrane. Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides, parfois glycosylés, assemblés en bicouches. L'eau, les solutés neutres ou chargés et les gaz dissous peuvent traverser les membranes. La perméabilité de la membrane vis-à-vis d'une substance chimique dépend de ses propriétés physico-chimiques et de celles de la substance considérée. Ces échanges transmembranaires sont régis par les différences de potentiel électro-chimique. Les flux de solutés s'effectuent dans le sens des potentiels électro-chimique décroissants par transport passif simple ou facilité ou dans le sens inverse par transport actif primaire ou secondaire (couplages énergétiques). Les flux transmembranaires sont une fonction linéaire (diffusion simple) ou une fonction présentant un plateau de saturation (échange assisté par un transporteur) de la concentration en molécule transportée. Des flux transmembranaires d'ions sont à l'origine d'un potentiel électrique appelé potentiel de membrane.

- Relier la fluidité membranaire à la composition de la membrane.
- Relier la perméabilité membranaire à la composition de la membrane.
- Exploiter la notion de potentiel électrochimique pour déterminer le caractère spontané ou non d'un échange.
- Exploiter la relation de Nernst pour déterminer le potentiel d'équilibre d'un ion.
- Exploiter la loi de Fick pour expliquer les caractéristiques cinétiques de certains échanges transmembranaires.
- Exploiter la notion de potentiel hydrique pour déterminer le sens des flux d'eau.
- Relier les caractéristiques des protéines membranaires (canal, transporteur) aux modalités d'échange.
- Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques.
- Relier l'inégale répartition des ions et les flux transmembranaires à l'existence d'un potentiel de membrane.

**Précisions et limites :**

Les échanges sont étudiés sur l'exemple de l'entérocyte (exemples préconisés : canal ionique, transporteur GLUT,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase, symport  $\text{Na}^+/\text{glucose}$  de type SGLT, aquaporine). L'existence de protéines membranaires chez une cellule bactérienne est mentionnée. Pour les cellules végétales, on s'appuie sur l'étude des échanges transmembranaires impliqués dans l'absorption racinaire (SV-B-2-1). Le potentiel de membrane est étudié à partir d'une cellule non excitable, les cellules excitables sont abordées dans la partie communication (SV-I-2).

<p>Des transferts de matière entre les compartiments et avec le milieu extracellulaire (endocytose et exocytose) sont réalisés par l'intermédiaire de vésicules. Le bourgeonnement et la fusion des vésicules reposent sur les propriétés des membranes et l'implication des protéines. Le transport et le guidage des vésicules mettent en jeu le cytosquelette.</p>	<p>- Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On ne détaille pas la diversité des protéines associées aux mécanismes d'endo et d'exocytose.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Echanges membranaires et nutrition des organismes unicellulaires (SV-A-3) et des Angiospermes (SV-B-2)  Auxine et développement de l'appareil végétatif des angiospermes (SV-B-3-1)  Organisation fonctionnelle des lipides et des protéines (SV-D-2)  Interaction protéine-ligand (SV-D-2-4)  Couplages énergétiques (SV-E)  Communication intercellulaire (SV-I-2)</p>	

## SV-D Organisation fonctionnelle des molécules du vivant (BCPST 1)

La structure et le fonctionnement des cellules reposent sur les propriétés des nombreuses molécules qui les constituent. Cette partie met en exergue la structure et les propriétés physico-chimiques des principales biomolécules et ne prend son sens que si ces propriétés sont mises en relation avec les fonctions biologiques des molécules envisagées.

Afin d'éviter que la mémorisation ne prenne le pas sur la compréhension des relations structure-propriétés-fonctions, un formulaire regroupant les principales biomolécules sera fourni aux étudiants lors des situations d'évaluation lorsque cela est nécessaire. Son contenu est précisé en fin de chaque sous-partie.

Cette partie gagnera à être construite en interaction avec le professeur de physique-chimie (Cf. Thème 4 : constitution et transformations de la matière) et prendra préférentiellement place au second semestre de BCPST 1 afin de s'appuyer sur les acquis de chimie organique.

Savoirs visés	Capacités exigibles
<p><b>SV-D-1 Les constituants du vivant</b></p>	
<p>Les constituants du vivant sont minéraux et organiques.  L'eau est la substance la plus abondante des organismes. La molécule d'eau est un dipôle électrique. L'eau est un solvant polaire.  L'eau est un fluide incompressible, de capacité thermique élevée avec des propriétés de cohésion. Les molécules biologiques portent des fonctions variées qui déterminent leurs propriétés physico-chimiques.  Les atomes peuvent être liés par une liaison « forte » de type liaison covalente, liaison de coordinence ou par des interactions faibles (liaison hydrogène, interaction ionique, interaction de Van der Waals). Les liaisons covalentes ont une distance courte et une énergie de liaison élevée, et inversement pour les interactions faibles, d'où leur stabilité relative.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier la nature minérale ou organique d'une molécule.</li> <li>- Relier les propriétés de la molécule d'eau à ses fonctions biologiques</li> <li>- Relier les caractéristiques d'une molécule (nature, taille...) à ses propriétés (hydrophilie, solubilité, ionisation), sa réactivité (réactions acido-basiques, d'estérification, de phosphorylation, d'oxydoréduction, d'équilibre céto-énolique) et in fine sa stabilité, ses fonctions.</li> <li>- Repérer les liaisons possibles au sein d'une molécule ou entre molécules, selon les fonctions chimiques qu'elles contiennent.</li> </ul>

**Précisions et limites :**

*On se limite à la description des fonctions alkyl, alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, amine, amide, ester, thiol, phosphoryle.*

*Les mises en relation entre taille, nature chimique et propriétés des molécules peuvent être abordées au fur et à mesure de la présentation des grandes familles de molécules organiques.*

*L'effet hydrophobe sera vu comme un type particulier d'interaction de Van der Waals.*

**Liens :**

Nutrition des Angiospermes et turgescence-plasmolyse (SV-B-2 et SV- B-3)

Grandes familles biochimiques (SV-D-2)

Métabolisme cellulaire (SV-E)

Circulation sanguine (SV-I-1)

Physique-chimie : constitution et transformations de la matière (4)

**SV-D-2 Les grandes familles biochimiques****SV-D-2-1 Lipides**

Les lipides forment un ensemble hétérogène de molécules organiques à caractère hydrophobe et de faible masse moléculaire.  
Les acides gras constitutifs des lipides membranaires et des triglycérides peuvent être saturés ou insaturés.  
Des lipides amphiphiles (phospholipide, glycolipide, cholestérol) forment les bicouches lipidiques constitutives des membranes.  
Les triglycérides sont des molécules de réserve. Ils sont stockés sous forme de gouttelettes dans le cytoplasme des cellules de différents tissus (tissu adipeux des Métazoaires, tissus de réserve des graines oléagineuses des Angiospermes).  
Des dérivés du cholestérol sont des molécules informationnelles (hormones stéroïdes).

- Exploiter la formule chimique d'un acide gras pour identifier son caractère hydrophobe, saturé ou insaturé.
- Représenter un triglycéride et un phospholipide, les formules des constituants de base étant fournies.
- Décrire et reconnaître les groupements hydrophobes et hydrophiles d'un phospholipide, d'un glycolipide et du cholestérol.

**Précisions et limites :**

*Les représentations attendues permettent seulement de montrer l'organisation fonctionnelle des lipides présentés. Pour les raisonnements, un formulaire regroupant les formules des principaux constituants (acide gras saturé, acide gras insaturé, glycérol, choline, sérine, éthanolamine, cholestérol) est fourni aux étudiants. Pour les hormones stéroïdes, on se limite aux seules hormones sexuelles connues des élèves depuis le lycée. Les cérides, les sphingolipides et les terpénoïdes ne sont pas attendus.*

**Liens :**

Organisation fonctionnelle de la membrane plasmique (SV-C-3)

Catabolisme oxydatif des acides gras (SV-E-2)

Membrane et réception de messagers chimiques (SV-I-2)

Physique-chimie (4.1.3)

**SV-D-2-2 Oses et polyosides**

Les oses sont des polyalcools, possédant un groupement carbonyle qui est soit une fonction aldéhyde (aldose), soit une fonction cétone (cétose).  
Les pentoses et les hexoses forment des cycles. Cette cyclisation est à l'origine de stéréoisomères  $\alpha$  et  $\beta$ .  
Les oses peuvent s'associer par liaison osidique.  
Les macromolécules glucidiques sont des polymères d'oses ou de leurs dérivés, le plus souvent monotones.  
Selon leur taille, leur solubilité, leur activité osmotique et leur structure tridimensionnelle, elles forment de

- Représenter le glucose, une liaison osidique et ses conséquences fonctionnelles (notamment dans le cas du saccharose).
- Relier l'organisation en polymère, la structure tridimensionnelle et les propriétés physico-chimiques des macromolécules glucidiques à leurs fonctions de structure ou de réserve.

<p>grands édifices à rôle de réserve (amidon et glycogène) ou de structure (cellulose, chitine, pectines et GAG). Elles peuvent s'associer à d'autres molécules organiques.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les représentations utilisées permettent de montrer l'organisation fonctionnelle des glucides présentés. La construction des notions s'appuie sur les molécules suivantes : glycéraldéhyde, dihydroxyacétone, fructose, ribose, galactose, désoxyribose.</i>  <i>Pour les raisonnements, un formulaire regroupant les formules des principaux constituants (fructose, saccharose, ribose, désoxyribose sous leur forme cyclique, amidon, glycogène, cellulose, chitine, pectines et GAG) est fourni aux étudiants.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>          Les macromolécules glucidiques des matrices extracellulaires (SV-C-1)          Les grandes voies de biosynthèse et le catabolisme oxydatif des glucides (SV-E-1 et SV-E-2)          Stockage et déstockage des molécules de réserves (SV-B-2-3 ; SV-E-2 ; SV-G-1 ; SV-G-2)</p>	
<p><b>SV-D-2-3 Nucléotides et acides nucléiques</b></p>	
<p>Les nucléotides sont constitués d'une base azotée (purique ou pyrimidique) et d'un pentose (ribose ou désoxyribose) phosphorylé une, deux ou trois fois. Les nucléotides triphosphates sont impliqués dans les transferts d'énergie. Le principal est l'ATP. Son hydrolyse exergonique peut être couplée à différents processus endergoniques. Les nucléotides et leurs dérivés forment des molécules de petite taille solubles et mobiles ou susceptibles de s'associer à des protéines. Ces nucléotides assurent différentes fonctions : transfert, coenzyme d'oxydoréduction ou second messenger. Les acides nucléiques sont des polymères séquencés de nucléotides. Vecteurs d'information, ils peuvent interagir avec des protéines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représenter un nucléotide, les formules des constituants de base étant fournies.</li> <li>- Représenter l'ATP, les formules des constituants de base étant fournies.</li> <li>- Expliquer en quoi l'hydrolyse de l'ATP est exergonique.</li> <li>- Représenter schématiquement la structure primaire d'un acide nucléique.</li> <li>- Représenter schématiquement la structure tridimensionnelle de l'ADN-B</li> <li>- Représenter schématiquement la structure d'un ARNt.</li> <li>- Relier leurs structures et leurs propriétés à leurs rôles dans la conservation et l'expression de l'information génétique.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On présente la diversité des molécules dérivées de nucléotides en lien avec leurs fonctions (transfert de groupes phosphates, coenzymes d'oxydoréduction, coenzyme de transfert de groupes acétyle et acyl (coenzyme A), second messenger).</i>  <i>Pour les raisonnements, un formulaire avec les formules des bases azotées (adénine, guanine, cytosine, uracile, thymine, coenzyme A) ainsi que du NAD<sup>+</sup> est fourni aux étudiants.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>          Production d'ATP lors du catabolisme (SV-E-2)          Grandes voies de l'anabolisme (SV-E-2)          Organisation des génomes (SV-F-1)          Expression des génomes (SV-F-2)          Communication-intégration d'une fonction (SV-I)</p>	
<p><b>SV-D-2-4 Acides aminés et protéines</b></p>	
<p>Les acides alpha-aminés possèdent une fonction acide carboxylique, une fonction amine et un radical de nature variable, reliés à un même carbone alpha. Leur état d'ionisation dépend du pH de la solution. Les protéines sont des polymères d'acides aminés. La liaison peptidique unit deux acides aminés selon une géométrie qui conditionne les structures d'ordre supérieur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regrouper les acides aminés selon leur radical et leurs principales propriétés associées.</li> <li>- Interpréter un profil d'hydropathie</li> <li>- Réaliser une électrophorèse de protéines en conditions natives</li> <li>- Exploiter les résultats d'une électrophorèse en conditions natives ou dénaturantes.</li> </ul>

<p>Les propriétés physico-chimiques de la liaison peptidique et des radicaux des acides aminés permettent aux protéines d'acquérir une structure tridimensionnelle secondaire, tertiaire et quaternaire. La structure d'une protéine peut être étudiée par des méthodes physico-chimiques.</p>	<p>- Exploiter des données structurales relatives à une protéine pour faire le lien avec sa fonction.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Pour les raisonnements, un formulaire avec les formules des radicaux des acides aminés est fourni aux étudiants. Pour la structure secondaire, on se limite aux hélices <math>\alpha</math> et feuilletts <math>\beta</math>. Les principes généraux et les objectifs des différentes techniques évoquées sont à connaître. Mais, dans toute cette partie, les protocoles des méthodes ne sont pas à mémoriser. La mise en œuvre pratique n'est exigible que pour l'électrophorèse.</i></p>	
<p>La fonction d'une protéine dépend de son affinité et de sa spécificité pour un ligand au niveau d'un site d'interaction. L'affinité et la spécificité d'un site d'interaction sont liées à sa structure tridimensionnelle et à la nature des acides aminés constitutifs. La séquence en acides aminés et la structure tridimensionnelle des protéines peuvent leur conférer des propriétés mécaniques. Les macromolécules protéiques sont des structures dynamiques du fait de la labilité des interactions faibles, ce qui participe à leur fonction. La coopérativité est permise par les changements conformationnels des protéines (allostérie). Certaines protéines peuvent subir des modifications post-traductionnelles (glycosylation, phosphorylation). Les connaissances sur l'affinité et la spécificité des interactions protéine-ligand ont permis de mettre au point des techniques de purification et d'en évaluer l'efficacité. D'autres approches expérimentales permettent de déterminer la localisation et la fonction d'une protéine.</p>	<p>- Illustrer les notions d'affinité et de spécificité sur un exemple.  - Relier la structure fibrillaire de certaines protéines vues par ailleurs dans le programme (protéines du cytosquelette, collagène) à leurs propriétés mécaniques  - Analyser des résultats expérimentaux utilisant des techniques d'extraction et de purification de protéines comme la chromatographie d'affinité.  - Analyser des données expérimentales sur les interactions entre une protéine et un ligand.  - Exploiter des données de modélisation moléculaire.  - Analyser et interpréter des résultats expérimentaux utilisant les techniques de western blot ou d'immunomarquage, de mutagenèse et de transgénèse.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les propriétés d'affinité et de spécificité sont étudiées sur un exemple de protéine, abordé par ailleurs dans le programme. Seuls les principes généraux et les objectifs des différentes techniques évoquées sont à connaître. Pour les modifications post-traductionnelles, on se limite à la glycosylation des glycoprotéines et à la phosphorylation dans le contrôle de l'activité enzymatique. Le détail des radicaux phosphorylés ou glycosylés ainsi que la distinction O-glycosylation / N-glycosylation ne sont pas au programme.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Hémoglobine (SV-B-1)  Protéines du cytosquelette et de la matrice extracellulaire (SV-C-1 ; SV-C-2)  Protéines membranaires (SV-C-3)  Enzymes (SV-E-3)  Protéines et organisation, expression du génome (SV-F)  Protéines du développement embryonnaire (SV-H-2 ; SV-H-3)  Protéines impliquées dans la communication cellulaire (SV-I)  Physique-Chimie : méthodes d'étude des molécules (RMN)</p>	
<p><b>Formulaire fourni aux étudiants :</b>  La liste des molécules à faire figurer dans le formulaire est indiquée dans les précisions et limites de chaque famille de molécules. Leurs formules ne sont pas à mémoriser. En revanche, l'argumentation de leurs principales fonctions, de leur réactivité, et des liaisons qu'elles peuvent former est attendue.</p>	

## SV-E Le métabolisme cellulaire (BCPST 1)

La présentation des différentes voies métaboliques est l'occasion de faire ressortir trois formes d'énergie privilégiées dans la cellule, à savoir l'énergie d'hydrolyse de l'ATP, l'énergie des réactions d'oxydo-réduction et l'énergie des différences de potentiels électrochimiques transmembranaires.

Elle permet d'aborder deux modes de production d'ATP, par transphosphorylation ou par conversion énergétique d'une différence de potentiel électrochimique de protons au niveau des membranes.

L'étude des chaînes de transport d'électrons associées à ces voies montre qu'elles reposent sur des réactions d'oxydo-réduction en chaîne, utilisent ou créent du pouvoir réducteur et génèrent un gradient électrochimique de protons (à l'origine de la synthèse d'ATP).

Enfin, la mise en évidence de la diversité des sources de matière et d'énergie des cellules permet de distinguer différents types trophiques remobilisés par ailleurs dans le programme (en écologie et dans l'étude des cycles biogéochimiques et du fonctionnement des sols)

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### SV-E-1 L'approvisionnement en matière organique

L'approvisionnement des cellules en matière organique se fait, soit par prélèvement direct dans l'environnement (hétérotrophes), soit par prélèvement puis réduction de matière minérale (autotrophes). Les cellules autotrophes synthétisent de la matière organique par réduction de matière minérale.

Au cours du cycle de Calvin, le carbone du CO<sub>2</sub> est réduit en matière organique grâce aux produits de la phase photochimique.

L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du cycle et la régénération du ribulose 1,5 bisphosphate (RuBP). La RubisCO est une enzyme clef permettant l'incorporation du CO<sub>2</sub>.

Dans le cas de la cellule végétale chlorophyllienne, l'énergie utilisée dans le cycle de Calvin provient de la conversion de l'énergie lumineuse (phototrophie). Les électrons nécessaires à la réduction proviennent d'une molécule minérale, l'eau (lithotrophie).

La membrane des thylakoïdes contient des photosystèmes qui font partie d'une chaîne de transport d'électrons convertissant l'énergie lumineuse en énergie potentielle chimique.

L'ATP est synthétisée par couplage osmochimique grâce à l'ATP synthase.

La RubisCO est une enzyme oligomérique michaelienne à activité carboxylase (cycle de Calvin) et oxygénase (photorespiration).

- Construire un bilan de matière et d'énergie du cycle de Calvin
- Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne photosynthétique.
- Expliquer le modèle de la chaîne photosynthétique en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction ( $\Delta E'$ ) et d'enthalpie libre de réaction ( $\Delta rG'$ ).
- Relier le principe de la conversion d'énergie aux caractéristiques de l'ATP-synthase.

#### Précisions et limites :

*Seule l'autotrophie au carbone est à traiter. On se limite aux plastes des Chlorophytes.*

*Le fonctionnement des translocateurs de protons de la chaîne photosynthétique n'est pas attendu.*

*La liste des transporteurs d'électrons et la structure fine des photosystèmes ne sont pas exigibles.*

*Les étapes détaillées de la photorespiration ne sont pas exigibles.*

*La photosynthèse C4 est hors-programme.*

Dans le cas des bactéries nitrifiantes comme *Nitrobacter*, l'énergie est apportée par conversion d'énergie potentielle chimique (chimiotrophie). Les électrons nécessaires à la réduction proviennent d'une molécule minérale, l'ion nitrite (lithotrophie).

- Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne de transfert d'électrons d'une bactérie nitrifiante (*Nitrobacter*).
- Expliquer le modèle de la chaîne de transfert des électrons chez les organismes chimioolithotrophes en

	<p>utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction (<math>\Delta E'</math>) et d'enthalpie libre de réaction (<math>\Delta rG'</math>).</p> <p>- Comparer l'organisation fonctionnelle d'un thylakoïde et d'une membrane plasmique de bactérie nitratante.</p>
<p>Les cellules hétérotrophes prélèvent directement la matière organique dans leur environnement. Ce prélèvement implique des échanges transmembranaires que ce soit au niveau des cellules constituant les surfaces d'échange avec le milieu ou au niveau des cellules consommatrices.</p> <p>Au sein d'un organisme pluricellulaire, un fluide circulant assure généralement le transport des molécules entre les différentes cellules.</p>	<p>- Argumenter l'approvisionnement des cellules en matière organique en prenant l'exemple du glucose chez les Mammifères.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On se limite à l'exemple d'un Mammifère. Aucune connaissance supplémentaire en dehors de celles abordées dans les cours sur les échanges membranaires et sur l'organisme animal n'est exigible.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Métabolisme des organismes unicellulaires (SV-A-3)  Fonction de nutrition vache/Fabacée (SV-A et SV-B-2)  Echanges transmembranaires de l'entérocyte (SV-C-3)  Protéines et interactions avec un ligand (SV-D-2-4)  Flux de matière et d'énergie au sein des écosystèmes (SV-J-2)  Types trophiques et cycle du carbone et de l'azote (BG-A)</p>	
<p><b>SV-E-2 Le devenir de la matière organique</b></p>	
<p>Dans les cellules, aussi bien autotrophes qu'hétérotrophes, la matière organique a trois devenirs : elle peut (1) être stockée ou exportée, (2) servir à la biosynthèse de nouvelles molécules organiques, ou (3) entrer dans les voies cataboliques fournissant son énergie à la cellule.</p> <p>(1) Le stockage de la matière organique permet de constituer des réserves.</p> <p>Chez les Chlorophytes, les trioses phosphates produits par le cycle de Calvin sont stockés transitoirement sous forme d'amidon dans le stroma chloroplastique ou sont convertis en glucides exportables vers d'autres cellules. Le glucose absorbé par une cellule hétérotrophe animale peut être stocké sous forme de glycogène dans le cytosol.</p> <p>Le stockage ou le déstockage des réserves glucidiques dépend de l'activité d'enzymes.</p>	<p>- Réaliser des colorations de tissus afin d'identifier différentes réserves cellulaires au microscope optique.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Pour le stockage et le déstockage, on se limite à l'exemple de la glycogène synthase et de la glycogène phosphorylase. Aucun détail sur les enzymes et leur contrôle, autres que ceux présentés sur la glycogène phosphorylase dans le cours d'enzymologie, n'est attendu. Le détail des mécanismes catalytiques des réactions en jeu est hors programme.</i></p>	
<p>(2) La matière organique permet de synthétiser de nouvelles molécules : c'est l'anabolisme.</p> <p>Les principales molécules du vivant ont un squelette carboné qui dérive d'intermédiaires de voies du métabolisme.</p> <p>Des interconversions entre familles de molécules sont possibles, elles aboutissent à la biosynthèse des principales molécules à rôle structural, métabolique ou informationnel à partir de carrefours métaboliques.</p>	<p>- Illustrer la notion de carrefour métabolique à partir de l'exemple de l'acétyl Coenzyme A</p>

<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Le panorama se limite aux points suivants :</i>  - localisation cellulaire de la biosynthèse des principales molécules ;  - voie d'acheminement des molécules vers leur localisation fonctionnelle, en se limitant au cas de l'adressage des protéines.  <i>La présentation des interconversions se limite aux exemples suivants, sans détail des réactions chimiques et des différentes étapes :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• synthèse d'acides gras et lipides à partir d'acétyl coenzyme A ;</li> <li>• synthèse de polysides à partir de glucose-1-phosphate ou de glucose-6-phosphate (végétaux) ;</li> <li>• synthèse d'acides aminés (alanine) à partir de pyruvate.</li> </ul>	
<p>(3) La matière organique absorbée ou stockée peut entrer dans les voies cataboliques desquelles la cellule tire son énergie. Le catabolisme peut être oxydatif aérobie (respiration) ou non (fermentation).</p>	
<p>La glycolyse est une voie métabolique permettant la biosynthèse d'ATP (par transphosphorylation ou phosphorylation liée au substrat), de coenzymes réduits et de pyruvate par une chaîne de réactions partant du glucose. L'oxydation du glycéraldéhyde-3-P dans le cytosol en est une réaction clef.</p> <p>La glycolyse est l'objet d'un contrôle cellulaire. Il participe à l'ajustement de la production d'ATP aux besoins de la cellule.</p> <p>Dans le cas de la fermentation, la glycolyse est la seule voie de production d'ATP. Des réactions biochimiques spécifiques de chaque voie fermentaire oxydent les coenzymes réduits, les rendant à nouveau disponibles pour la glycolyse.</p>	<p>- Construire un bilan de matière et d'énergie de la glycolyse.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Le bilan énergétique de la glycolyse est à connaître.  Seules les fermentations lactique et alcoolique sont à connaître.  Le contrôle de la glycolyse se limite au cas de la phosphofructokinase 1 (PFK1).</i></p>	
<p>Dans le cas de la respiration cellulaire, le pyruvate est importé dans la mitochondrie et subit une décarboxylation à l'origine d'acétyl-CoA.</p> <p>Les acides gras peuvent également être importés dans la matrice mitochondriale et produire de l'acétyl-CoA par <math>\beta</math>-oxydation.</p> <p>Le catabolisme des acides aminés passe par le pyruvate ou un intermédiaire du cycle de Krebs.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On présente le principe de la <math>\beta</math>-oxydation des acides gras et son bilan de matière et d'énergie. Les réactions chimiques ne sont pas exigibles. On ne détaille pas les réactions chimiques des voies cataboliques des acides aminés.</i></p>	
<p>Le cycle de Krebs est une voie de convergence du catabolisme utilisant l'acétyl-CoA chez toutes les cellules à catabolisme aérobie. Il réalise la décarboxylation oxydative totale des composés, couplée à la production de nucléotides énergétiques et la réduction de coenzymes.</p>	<p>- Construire un bilan de matière et d'énergie du cycle de Krebs.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>En dehors de l'équation bilan du cycle de Krebs, seules les réactions suivantes sont attendues :</i>  - entrée de l'acétyl-coA dans le cycle de Krebs  - réactions conduisant de l'alpha-cétoglutarate au succinate en montrant les couplages entre réaction d'oxydo-réduction et transphosphorylation.</p>	
<p>La chaîne respiratoire est une chaîne de transfert d'électrons issus de coenzymes réduits vers un accepteur final minéral à plus fort potentiel</p>	<p>- Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne respiratoire.</p>

<p>d'oxydoréduction. Ce transfert est associé à des conversions chimio-osmotiques (via la chaîne respiratoire) et osmo-chimiques (via l'ATP synthase) qui permettent la production d'ATP. L'ATP est donc synthétisée en quantité variable selon le métabolite initial et la voie métabolique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le modèle de la chaîne respiratoire en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction (<math>\Delta E'</math>) et d'enthalpie libre de réaction (<math>\Delta_r G'</math>).</li> <li>- Comparer les chaînes de transfert d'électrons des chloroplastes et des mitochondries.</li> <li>- Comparer le bilan énergétique de la respiration cellulaire avec pour substrat initial le glucose et un acide gras.</li> <li>- Comparer le bilan de production d'ATP de la fermentation et de la respiration.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les acquis de spécialité de terminale sont remobilisés. Le fonctionnement des translocateurs de protons de la chaîne respiratoire n'est pas attendu.  La liste des transporteurs d'électrons n'est pas exigible.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Nutrition d'un organisme végétal (SV-B-2)  Rôle énergétique des biomolécules (SV-D-2)  Enzymes et couplages (SV-E-3)  Expression génétique, traduction, adressage (SV-F-2)</p>	
<p><b>SV-E-3 Les enzymes et la catalyse des réactions</b></p>	
<p>On distingue les enzymes à comportement coopératif (enzymes allostériques) et à comportement michaelien. Pour une enzyme oligomérique, l'allostérie correspond à l'influence d'un site de fixation d'un ligand sur un autre qu'il soit identique (effet homotrope) ou différent (effet hétérotrope).  Les principaux paramètres cinétiques permettant de décrire une activité enzymatique sont <math>v_{max}</math>, <math>K_M</math> ou <math>K_{0,5}</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser le suivi expérimental d'une réaction enzymatique : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtention d'une cinétique et détermination de la vitesse initiale ;</li> <li>• Construction d'une courbe <math>v_i = f([S]_0)</math> et linéarisation en double inverse ;</li> <li>• Détermination de <math>K_M</math>, <math>v_{max}</math> et de l'efficacité catalytique.</li> </ul> </li> <li>- Argumenter le comportement coopératif ou michaelien d'une enzyme sur la base de la courbe <math>v_i = f([S])</math></li> <li>- Comparer et discuter les principales caractéristiques structurales et fonctionnelles des enzymes michaeliennes et des enzymes allostériques (enzymes à comportement coopératif).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On se limite à un exemple d'enzyme michaelienne et un exemple d'enzyme allostérique, à prendre parmi ceux évoqués dans d'autres items du programme. Ces exemples sont ensuite réinvestis pour le contrôle de l'activité enzymatique. Seul le suivi expérimental d'une cinétique michaelienne est réalisé en TP.</i></p>	
<p>Les enzymes sont des biocatalyseurs et jouent souvent le rôle d'agents de couplage entre réactions. La catalyse enzymatique implique la formation d'un complexe enzyme-substrat au niveau du site actif de l'enzyme.  Le site actif est à l'origine de la spécificité de substrat et de réaction. Il est constitué d'acides aminés ayant un rôle dans la fixation du substrat, dans la catalyse enzymatique ou dans les deux phénomènes à la fois.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Argumenter le rôle d'agent de couplage à l'aide d'exemples de couplages chimio-chimiques.</li> <li>- Relier la spécificité de substrat et de réaction à la structure tridimensionnelle et aux interactions du complexe enzyme-substrat.</li> <li>- Exploiter des données de modélisation moléculaire.</li> <li>- Exploiter des résultats de mutagenèse ou autres pour expliquer un mécanisme catalytique.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Aucun mécanisme catalytique n'est à connaître.</i></p>	
<p>Plusieurs facteurs modifient l'activité enzymatique et donc les réactions du métabolisme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la quantité d'enzyme, liée à l'expression génétique et à sa localisation (adressage)</li> <li>- les conditions physico-chimiques (pH, T)</li> <li>- les modifications conformationnelles de l'enzyme par modification covalente ou par fixation d'un ligand.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les effets des inhibiteurs compétitif et non compétitif sur les paramètres cinétiques d'une enzyme michaelienne.</li> <li>- Argumenter, sur un exemple, la diversité des effecteurs allostériques et de leurs effets.</li> <li>- Expliquer l'importance physiologique et pharmacologique des effecteurs sur la base de quelques exemples.</li> </ul>

Les enzymes sont des éléments de spécialisation des cellules ou des compartiments cellulaires.	- Analyser et interpréter des données cinétiques en présence de différents types d'effecteurs.
<b>Précisions et limites :</b> <i>On étudie les mécanismes de contrôle de l'activité enzymatique sur les exemples d'enzyme michaelienne et d'enzyme allostérique étudiés précédemment. Pour les modifications conformationnelles par modification covalente, on se limite à la phosphorylation.</i>	
<b>Liens :</b> Structure des protéines (SV-D-2-4) Interactions protéines-ligand (SV-D-2-4) Réactions clefs du métabolisme (SV-E) Contrôle de l'expression de l'information génétique (SV-F-3) Physique-chimie : catalyse, catalyseurs (4.4.3)	

## SV-F Génomique structurale et fonctionnelle (BCPST 1 et BCPST 2)

La présentation des génomes et de leur organisation est l'occasion de préciser les points communs et les différences entre Eucaryotes, bactéries et virus. L'expression des génomes et son contrôle s'appuient uniquement sur des exemples eucaryotes et permettent de discuter du concept de gène. La présentation de la transmission des génomes au cours des divisions cellulaires permet de rappeler et comparer les principales caractéristiques des divisions mitotique et méiotique. Elles sont mises en lien avec leurs implications dans les processus de développement et de reproduction qui sont abordés par ailleurs dans le programme. Les processus de diversification des génomes sont l'occasion de comprendre la diversité génétique observée à l'échelle des populations et à l'échelle des espèces. Les mécanismes de maintien ou de réduction de la diversité génétique produite, soit par des tris sélectifs, soit par des processus aléatoires, sont abordés dans la partie sur l'évolution. Enfin, cette partie est l'occasion de présenter quelques techniques couramment utilisées au laboratoire pour étudier les génomes et leur expression.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

## SV-F-1 Génome des cellules et des virus, transmission de l'information génétique (BCPST 1)

### SV-F-1-1 Organisation des génomes

L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent constitue son génome.  
L'étude des génomes passe par une panoplie de techniques dites de biologie moléculaire.  
Des techniques de séquençage permettent de déterminer la séquence d'un fragment d'ADN puis de proche en proche la séquence des génomes.  
L'utilisation d'outils bioinformatiques permet d'identifier les différents types de séquences codantes et non codantes.

- Réaliser et analyser les résultats d'une électrophorèse d'ADN.
- Interpréter l'organisation des génomes à partir des résultats de séquençage.
- Exploiter les données de séquençage pour réaliser des alignements de séquences et comparer les séquences.

### Précisions et limites :

*Les principes généraux et les objectifs des différentes techniques évoquées sont à connaître mais les protocoles ne sont pas à mémoriser.*

*Pour le séquençage, seul le principe de la méthode de Sanger doit être connu.*

*La mise en œuvre pratique n'est exigible que pour l'électrophorèse. La maîtrise d'un logiciel d'alignement de séquences n'est pas exigible (la fiche technique du logiciel est fournie).*

Chez les bactéries, le génome à localisation cytoplasmique est constitué d'un chromosome circulaire et éventuellement de plasmides. Le génome des bactéries est constitué presque exclusivement de

- Comparer l'organisation du génome des bactéries, des Eucaryotes et des virus.
- Comparer le génome cytoplasmique eucaryote et celui des bactéries.

<p>régions codantes. Certaines sont associées à des régions régulatrices communes ce qui forme des opérons. Chez les Eucaryotes, on distingue le génome nucléaire et le génome des organites. Le génome nucléaire est constitué de chromosomes linéaires.</p> <p>L'ADN nucléaire des Eucaryotes est associé à des protéines dont des histones, constituant la chromatine. Il existe différents niveaux de condensation de la chromatine.</p> <p>Le génome nucléaire des Eucaryotes comporte une part importante de séquences non codantes aux rôles divers. La majorité de ces séquences est répétée. Les gènes eucaryotes sont généralement morcelés.</p> <p>Les virus ou particules virales sont des entités nucléoprotéiques comprenant un acide nucléique (sous forme d'ADN ou d'ARN) constituant le génome viral, et des protéines. On distingue des protéines à rôle structural, formant la capsid, et parfois des protéines à rôle enzymatique. Les virus sont très divers et possèdent parfois une enveloppe lipoprotéique.</p>	<p>- Estimer la proportion de séquences codantes et non codantes dans les génomes des Eucaryotes, des bactéries et des virus.</p> <p>- Illustrer la diversité structurale et la diversité d'hôte des virus.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>On se limite à mentionner la présence de protéines structurales associées à l'ADN chez les bactéries, sans détailler l'organisation moléculaire du chromosome bactérien. On se limite à la présentation de la structure de l'opéron lactose chez E. coli .</i></p> <p><i>Aucune monographie de chaque virus n'est attendue. Il s'agit de montrer la diversité structurale (organisation structurale, taille, présence ou non d'une enveloppe, nature de l'information génétique) et la diversité d'hôte à l'aide de trois exemples, sans rentrer dans les détails des cycles de multiplication : bactériophage lambda, VMT, un coronavirus zoonotique.</i></p> <p><i>La connaissance des génomes est remobilisée dans l'étude de l'évolution.</i></p>	
<p><b>SV-F-1-2 La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires chez les Eucaryotes</b></p>	
<p>Chez les Eucaryotes, le matériel génétique est dupliqué au cours de la phase S interphasique qui précède toute division cellulaire.</p> <p>La réplication semi-conservative de l'ADN est assurée par des ADN polymérases. C'est un processus avec un faible taux d'erreur qui assure la conservation globale de l'information génétique.</p> <p>Les connaissances sur les ADN polymérases ont permis d'élaborer des méthodes d'amplification <i>in vitro</i> de l'ADN.</p>	<p>- Expliquer le principe de polymérisation par l'ADN polymérase.</p> <p>- En se basant sur le fonctionnement des ADN polymérases, expliquer le principe de la PCR.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>La diversité des ADN polymérases n'est pas attendue. On insiste juste sur la nécessité d'amorce pour les ADN polymérases, de la complémentarité des bases et de la polarité 5'-3' pour la synthèse des acides nucléiques.</i></p> <p><i>Aucune protéine du système de réplication autre que l'ADN polymérase n'est à présenter.</i></p> <p><i>Le détail des mécanismes de correction des erreurs et de réparation de l'ADN n'est pas au programme. En revanche, l'ordre de grandeur du taux d'erreur de la réplication est indiqué.</i></p>	
<p>Le cycle cellulaire des cellules eucaryotes comprend une interphase et une mitose.</p> <p>Le matériel génétique est dupliqué pendant la phase S (réplication).</p> <p>Le matériel génétique est réparti équitablement entre les 2 cellules filles au cours de la phase M.</p>	<p>- Estimer l'ordre de grandeur de la durée des différentes phases d'un cycle cellulaire à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>- Interpréter des résultats mettant en évidence un contrôle du cycle cellulaire.</p>

<p>Le cycle cellulaire est contrôlé. Le passage d'une étape à une autre est sous le contrôle de signaux extracellulaires et de facteurs internes notamment liés à l'intégrité de l'information génétique.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Aucun mécanisme moléculaire n'est attendu : on signale seulement l'existence de points de contrôle dont le franchissement autorise la poursuite du cycle, sans aucun détail. La multiplication des virus est traitée dans la partie sur l'expression des génomes.</i></p>	
<p>Les chromosomes répliqués, à 2 chromatides, se condensent progressivement au cours des prophases de mitose et de méiose I.</p>	<p>- Représenter la structure d'un chromosome métaphasique (centromère, télomère, kinétochore).</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Aucun détail moléculaire n'est attendu.</i></p>	
<p>Le processus mitotique assure une égale répartition des chromosomes entre les deux cellules-filles grâce à l'intervention de protéines (notamment du cytosquelette). La cytokinèse permet la séparation des deux cellules-filles.</p>	<p>- Expliquer comment le processus mitotique, et en particulier le fonctionnement du fuseau de division, permet l'égale répartition des chromosomes, donc de l'information génétique. - Illustrer le processus de cytokinèse chez les Métazoaires et les Embryophytes. - À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la mitose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On considère uniquement la mitose de cellules pour lesquelles la division cellulaire suit la division nucléaire. On se limite aux mécanismes de base et à l'existence du fuseau de division. Des molécules comme les cohésines et les séparases par exemple ne sont pas exigibles.</i></p>	
<p>La méiose est une série de deux divisions successives précédée par une interphase. Elle permet de passer d'une phase diploïde à une phase haploïde. C'est une des étapes de la formation des gamètes et des méiospores chez les organismes à reproduction sexuée.</p>	<p>- Expliquer comment le processus méiotique permet d'aboutir à 4 cellules-filles haploïdes à partir d'une cellule-mère diploïde. - Représenter schématiquement les caractéristiques cytologiques et chromosomiques de la méiose. - À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la méiose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Les acquis du lycée sur les brassages génétiques sont remobilisés.</i></p>	
<p><b>Liens :</b> Organisation de la cellule bactérienne et eucaryote (SV-C-2) Acides nucléiques (SV-D-2-3) Brassages génétiques en méiose (SV-F-4) Formation des gamètes, des méiospores et des gamétophytes (SV-G) Diversité génétique comme base de diversité du vivant (SV-K)</p>	
<p><b>SV-F-2 L'expression du génome (BCPST 1)</b></p>	
<p>La transcription de l'ADN en ARN est assurée par des ARN polymérases. Elle se déroule en trois étapes</p>	<p>- Expliquer le principe de polymérisation d'un ARN par l'ARN polymérase.</p>

<p>(initiation, élongation, terminaison) et génère plusieurs types d'ARN : ARNm, ARNt, ARNr et petits ARN. La transcription est initiée au niveau d'un promoteur reconnu par un complexe d'initiation et modulée positivement ou négativement par des facteurs de transcription.</p> <p>Un gène est une unité de transcription avec ses séquences régulatrices, c'est-à-dire une séquence d'ADN nécessaire à la synthèse d'un ARN. Ce dernier peut conduire à la synthèse d'un ou plusieurs polypeptides.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représenter schématiquement la structure d'un gène eucaryote avec l'ensemble de ses caractéristiques.</li> <li>- Discuter le concept de gène.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Le processus de transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN messagers chez les Eucaryotes.</i></p> <p><i>La nomenclature de tous les facteurs protéiques impliqués dans le complexe d'initiation ainsi que l'organisation détaillée du promoteur ne sont pas à mémoriser.</i></p> <p><i>On mentionne l'existence de signaux indiquant la fin de la transcription chez les Eucaryotes.</i></p> <p><i>On limite la présentation des petits ARN aux ARNi.</i></p>	
<p>Chez les Eucaryotes, les ARN pré-messagers subissent une maturation (excision-épissage s'ils sont morcelés, ajout d'une coiffe en 5', polyadénylation en 3') dans le noyau. Les ARN messagers obtenus sont exportés vers le cytosol.</p> <p>Des mécanismes comme l'épissage alternatif, produisent des ARNm différents pour une même unité de transcription.</p> <p>L'ensemble des ARN transcrits et maturés constitue le transcriptome cellulaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer l'importance des processus co- et post-transcriptionnels dans la diversification et le contrôle de la demi-vie des transcrits.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Le détail des mécanismes moléculaires des phénomènes de maturation et d'exportation hors du noyau n'est pas exigible. On ne traite pas de l'édition ou de la polyadénylation alternative.</i></p>	
<p>Dans le cytosol, les ARNm matures sont traduits en polypeptides.</p> <p>La traduction repose sur la coopération fonctionnelle entre différentes classes d'ARN au sein des ribosomes. Elle comprend une phase d'initiation, d'élongation et de terminaison.</p> <p>La correspondance entre un codon et un acide aminé est assurée par les ARNt suivant le code génétique.</p> <p>Les amino-acyl ARNt synthétases assurent la fidélité de la correspondance acide aminé/codon sur l'ARNt.</p> <p>La transpeptidation est catalysée par un ARNr (ribozyme) de la grande sous-unité du ribosome.</p> <p>La machinerie de traduction assure la conversion de l'information codée dans la séquence nucléotidique en séquence d'acides aminés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer l'importance des interactions entre ARN au cours des différentes étapes de la traduction</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les expériences ayant conduit à l'élucidation du code génétique et la terminologie des facteurs protéiques intervenant dans la traduction peuvent être étudiées mais ne sont pas à mémoriser.</i></p>	

<p>Chez les Eucaryotes, la traduction est réalisée dans le cytosol et dans les organites semi-autonomes. Chez les bactéries, transcription et traduction sont simultanées. La protéine synthétisée ou en cours de synthèse peut être adressée à un compartiment particulier grâce à une séquence signal et une machinerie d'adressage en interaction avec le système de traduction.</p>	<p>- Relier le phénomène d'adressage à la spécialisation des compartiments.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Pour les mécanismes d'adressage, seul le mécanisme simplifié de l'adressage au réticulum est étudié. Les autres adressages sont mentionnés.</i></p>	
<p>L'acquisition de la structure tridimensionnelle d'une protéine (repliement) peut être assistée par des protéines chaperonnes.  Une protéine peut subir des modifications post-traductionnelles.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Pour les modifications post-traductionnelles, on se limite aux exemples de clivage, glycosylation et phosphorylation.</i></p>	
<p>Les virus se multiplient en détournant la machinerie d'expression de l'information génétique de la cellule hôte.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On présente une vue générale de la multiplication sur un exemple au choix en se limitant aux modalités de réplication de l'information génétique, de synthèse des protéines et de formation de nouveaux virus.  On se limite à distinguer la synthèse des polymérase et des protéines de la capsid, sans détailler les différentes protéines virales et les mécanismes moléculaires impliqués.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Compartimentation des cellules spécialisées (SV-C-2)  Flux de matière et d'information dans une cellule eucaryote (SV-C-2)  Structure des acides nucléiques (SV-D-2-3)  Structure des protéines (SV-D-2-4)  Glycosylation et phosphorylation des protéines (SV-D-2-4).  Expression des gènes homéotiques au cours du développement embryonnaire (SV-H-2)</p>	
<p><b>SV-F-3 Le contrôle de l'expression du génome (BCPST 1)</b></p>	
<p>Des modifications de l'environnement cellulaire ou des signaux internes à la cellule influencent l'expression du génome. Ces diverses influences conduisent à des phénotypes variés.  Chez les Eucaryotes, l'ensemble des contrôles transcriptionnels, post-transcriptionnels et post-traductionnels expliquent la diversité des transcriptomes et des protéomes.  La diversité des ARN et protéines produits à un instant donné est à l'origine du phénotype des cellules et des organismes.  Des modifications expérimentales par mutagenèse aléatoire ou ciblée ou transgenèse permettent d'étudier les liens entre génotype et phénotype.  Les transcriptomes et protéomes peuvent être étudiés à l'aide de sondes nucléotidiques et d'anticorps spécifiques respectivement.</p>	<p>- Analyser et Interpréter des résultats expérimentaux issus des principales méthodes d'étude du transcriptome et du protéome, le principe de la méthode étant fourni.</p> <p>- Analyser des résultats issus d'expériences de transgenèse ou de mutagenèse.</p> <p>- Analyser et interpréter des résultats expérimentaux utilisant les techniques de Southern blot, northern blot, western blot, hybridation <i>in-situ</i> ou de puce à ADN.</p> <p>- Identifier et justifier les témoins de charge des blots.</p>

**Précisions et limites :**

*Le principe des différentes techniques expérimentales évoquées est à connaître. La mise en œuvre pratique n'est pas exigible et les protocoles ne sont pas à mémoriser.*  
*La transgenèse est limitée à la transformation chez les bactéries. Son existence chez les Eucaryotes est mentionnée sans détailler.*  
*Concernant les puces à ADN, seule une analyse qualitative est requise, aucune méthode d'analyse informatique n'est exigible.*

Le contrôle de l'initiation de la transcription est la principale voie de contrôle de l'expression génétique. Le contrôle de la transcription repose sur des interactions entre des séquences régulatrices et des facteurs de transcription ou de remodelage de la chromatine. Les facteurs de transcription interagissent spécifiquement avec des séquences d'ADN et des protéines. Le niveau de transcription est influencé par l'état de méthylation des bases de l'ADN et les modifications de la chromatine. La probabilité d'initiation de la transcription dépend de la combinaison de tous les acteurs précités. Les modifications de la chromatine constituent une information transmissible et sont à la base du contrôle épigénétique. Ces modifications transmissibles constituent l'épigénome.

- Relier le contrôle de l'expression génétique à la différenciation et la spécialisation cellulaire.

- Illustrer, à partir de l'exemple du gène *FLC*, le lien entre conditions climatiques, état de condensation de la chromatine et expression génétique.

**Précisions et limites :**

*Le contrôle de la transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN pré-messagers chez les Eucaryotes.*  
*Concernant les facteurs de transcription, on se limite au motif bHLH en lien avec les facteurs myogéniques, réinvesti en BCPST 2.*  
*Le contrôle épigénétique est abordé uniquement à partir de l'exemple du contrôle de l'expression du gène *FLC* chez *A. thaliana* qui sera repris en BCPST 2. Les modifications chimiques des histones sont envisagées, mais le détail du « code épigénétique » des histones n'est pas à connaître.*

L'interférence ARN est un mécanisme de contrôle post-transcriptionnel majeur.

**Précisions et limites :**

*On présente les grandes étapes de l'interférence ARN sans aucun détail moléculaire : appariement de l'ARN interférent à l'ARNm cible, inhibition de la traduction de l'ARNm ou activation d'une endonucléase qui hydrolyse l'ARNm.*

**Liens :**

Contrôle de l'expression des gènes dans la floraison (SV-B-3-2)  
Organisation fonctionnelle d'une protéine (SV-D-2-4)  
Interactions entre molécules, notion d'affinité et de spécificité (SV-D-2-4)  
Contrôle de l'expression des gènes au cours du développement embryonnaire (SV-H-2)  
Changements climatiques et leurs conséquences sur la biodiversité (BG-C-3)

**SV-F-4 La diversification des génomes (BCPST 2)**

**SV-F-4-1 Diversité des mutations et diversification des génomes**

La séquence des génomes est modifiée de manière aléatoire :  
- par des erreurs de réplication non réparées

- Relier les mutations de la séquence nucléotidique à leurs conséquences phénotypiques.

<p>- par des lésions de l'ADN non réparées dont la fréquence est augmentée par des agents mutagènes. Certaines mutations modifient la structure des chromosomes (délétions, inversions, duplication, translocation) ou affectent leur nombre (polyploïdie, aneuploïdie). Les mutations géniques et chromosomiques peuvent être la source de nouveaux gènes et allèles.</p>	<p>- Analyser un caryotype et repérer les anomalies chromosomiques.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Un seul exemple de lésion de l'ADN est traité (désamination, dépurination ou dimères de thymine). Les mécanismes de réparation sont hors-programme.</i></p>	
<p><b>SV-F-4-2 Brassage génétique et diversification des génomes</b></p>	
<p>La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles. Chez les Eucaryotes, la méiose contribue à la diversification des génomes. En unissant des génomes haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes. Les mécanismes favorisant l'allogamie augmentent la diversité des combinaisons alléliques.</p>	<p>- Relier les principaux événements cytogénétiques de la méiose avec leurs conséquences sur le brassage allélique. - Argumenter les processus de brassage génétique en s'appuyant sur le principe de quelques croisements simples mais différant par deux couples d'allèles pris chez les organismes diploïdes. - Comparer les conséquences génétiques de l'autogamie et de l'allogamie. - À partir de l'étude de différents croisements (lien partie « Reproduction ») :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier les caractères indépendants ou liés des gènes ;</li> <li>• déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles ;</li> <li>• montrer la diversité génétique créée ;</li> <li>• illustrer des pratiques de sélection agronomique sur un exemple.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Ni la nomenclature des différentes étapes de la prophase I de méiose ni les mécanismes moléculaires de la recombinaison homologue de la méiose ne sont au programme. Pour illustrer l'allogamie, un exemple de séparation des sexes dans l'espace et un exemple d'auto-incompatibilité gamétophytique sont traités. Les calculs de distance génétique sont hors programme.</i></p>	
<p>Les hybridations interspécifiques sont une autre source de diversification des génomes Chez les Bactéries (et dans une moindre mesure chez les Eucaryotes), des modifications du génome sont possibles par transferts horizontaux de matériel génétique. Les transferts horizontaux de gènes sont utilisés en génie génétique.</p>	<p>- Relier les modalités de transfert horizontal à leurs applications biotechnologiques. - Identifier un transfert horizontal (par comparaison d'arbres phylogénétiques)</p>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On se limite à une seule modalité de transfert horizontal de gènes chez les bactéries, sans aucun mécanisme moléculaire.</i></p>	
<p><b>Liens :</b> Diversification des génomes et sélection de Bovidé ou Fabacée (SV-A-1 et 2) Structure de l'ADN (SV-D-2-3)</p>	

Transmission de l'information génétique (SV-F-1-2)  
 Modalités de la reproduction sexuée (SV-G-1 et SV-G-3)  
 Transmission des allèles dans les populations (SV-K-1)  
 Vision évolutive de la biodiversité, apports des transferts horizontaux (SV-K-1)

## SV-G Reproduction (BCPST 2)

La reproduction permet la multiplication des individus. L'étude de la reproduction sexuée chez les Embryophytes et les Mammifères est l'occasion de présenter des cycles de développement comprenant méiose et fécondation, avec une ou deux générations. La comparaison avec la reproduction asexuée permet de montrer que, selon les mécanismes, la reproduction participe plus ou moins à la diversification des individus et à l'évolution biologique. En climat tempéré, les cycles de reproduction présentent un lien avec les saisons.

Le cours est réalisé en deuxième année mais deux séances de TP de biologie florale sont effectuées en première année.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### SV-G-1 La reproduction sexuée chez les Embryophytes

La reproduction sexuée fait intervenir l'alternance de deux générations, sporophytique et gamétophytique. Une génération est une partie du cycle de développement comprise entre deux stades de reproduction (zygote ou spore).  
 La génération sporophytique, issue des mitoses du zygote produit des méiospores.  
 La génération gamétophytique issue des mitoses d'une méiospore, produit des gamètes.

- Argumenter la notion de génération gamétophytique à partir du prothalle de polypode, du grain de pollen et du sac embryonnaire des Angiospermes.
- Construire les cycles de développement en identifiant les phases chromosomiques et les générations.

Chez le polypode, les méiospores sont disséminées dans le milieu et forment, par mitoses et différenciation, les prothalles sexués.  
 Chez les Angiospermes, les méiospores ne sont pas disséminées. Elles réalisent mitoses et différenciation au sein des pièces fertiles de la fleur qui constitue l'appareil reproducteur.

- Mettre en relation les différentes structures reproductrices (prothalle, fleur) et leur rôle dans la reproduction.
- Réaliser une dissection florale et établir le diagramme floral et la formule florale correspondants.
- En classe et sur le terrain, utiliser une flore et/ou un outil numérique de détermination pour identifier le genre d'une fleur.
- Réaliser et/ou interpréter des coupes d'anthers à différents stades, ainsi que des coupes d'ovaires et d'ovules.
- À l'aide de techniques de microscopie optique et électronique :
  - analyser l'organisation des grains de pollen et des sacs embryonnaires ;
  - identifier le degré de maturité des structures reproductrices (anthers).
- Positionner quelques organismes dans une classification phylogénétique, sur la base de critères morphologiques et /ou anatomiques simples.

#### Précisions et limites :

*Les différentes étapes qui conduisent d'une cellule mère des spores au gamétophyte ne sont pas au programme. La connaissance des différents types de placentation des ovaires et des différents types d'ovules n'est pas au programme. Les classifications phylogénétiques et les apomorphies associées ne sont pas à connaître. Les acquis de terminale sont remobilisés.*

<p>La fécondation implique une phase de rapprochement des gamètes en lien avec le milieu de vie.</p> <p>La fécondation externe du polypode est dépendante de la présence d'eau.</p> <p>La fécondation interne siphonogame des Angiospermes est précédée d'une pollinisation le plus souvent entomogame ou anémogame.</p> <p>La siphonogamie est assurée par une croissance apicale orientée du tube pollinique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer le mécanisme de déhiscence des anthères à la déhiscence du sporange de polypode.</li> <li>- Mettre en lien les deux principaux types de pollinisation (anémogame et entomogame) et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés.</li> <li>- Émettre des hypothèses sur le mode de pollinisation à l'aide des structures observées suite à une dissection florale et/ou un montage de grains de pollen.</li> <li>- À partir d'observations conjointes de fleurs et d'insectes, identifier des exemples de coadaptation.</li> <li>- Analyser des résultats expérimentaux mettant en évidence des coévolutions entre fleurs et insectes.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Un seul exemple de fleur est à mémoriser pour chaque type de pollinisation (anémogame et entomogame). Les détails concernant les mécanismes de la croissance apicale du tube pollinique sont hors-programme.</i></p>	
<p>La double fécondation, spécificité des Angiospermes, conduit à la transformation du sac embryonnaire en embryon principal et albumen, de l'ovule en graine et de la fleur en fruit. Le fruit constitue la principale synapomorphie des Angiospermes. La double fécondation est précédée d'une phase de tri des grains de pollen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer comment le système gamétophytique d'auto-incompatibilité réalise un tri des grains de pollen.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les étapes de la transformation de l'ovule en graine et de la fleur en fruit ne sont pas au programme. Les mécanismes moléculaires de l'auto-incompatibilité gamétophytique ne sont pas au programme.</i></p>	
<p>Chez les Angiospermes, le nouvel individu est disséminé à l'aide de la graine et/ou du fruit.</p> <p>Chez le polypode, le nouvel individu est formé au sein du prothalle et la dissémination s'est produite, avant, grâce aux méiospores.</p> <p>La dormance des graines est un mécanisme permettant de corréliser le cycle de développement aux saisons.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les propriétés d'un organe de dissémination (graine/fruit ou spore) à celles d'un organe de dispersion (grain de pollen).</li> <li>- Illustrer la diversité des modalités de dissémination à l'aide de quelques exemples de fruits.</li> <li>- À partir d'observation de fruits et de graines, en classe et sur le terrain : <ul style="list-style-type: none"> <li>• dégager les grands traits de l'organisation de fruits et mettre en lien avec les fonctions de protection, et de dissémination des graines ;</li> <li>• distinguer un fruit d'une graine ;</li> <li>• distinguer : fruit charnu (baie et drupe), fruit sec déhiscent (gousse, follicule, silique) et fruit sec indéhiscent (caryopse et akène), au sein de fruits simples ou de fruits multiples ;</li> <li>• repérer des homologies et des convergences dans l'organisation des fruits et des graines.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>On se limite à la distinction graine albuminée-graine exalbuminée.</i></p> <p><i>La diversité des modalités de dissémination est abordée à travers l'anémochorie, l'endozoochorie et l'épizoochorie, avec un seul exemple à mémoriser pour chaque modalité.</i></p> <p><i>Les mécanismes d'entrée et de levée de dormance ne sont pas au programme.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Distinction appareil végétatif-appareil floral reproducteur. Rythme saisonnier et étapes du cycle de reproduction (SV-A-2)</p> <p>Développement de l'appareil reproducteur des angiospermes (SV-B-3-2)</p> <p>Interaction cellule-matrice (SV-C-1)</p> <p>Cytosquelette (SV-C-2) et flux vésiculaire (SV-C-3)</p> <p>Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-F-4)</p> <p>Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2)</p> <p>Activités de terrain</p>	

<b>SV-G-2 La reproduction asexuée chez les Angiospermes</b>	
<p>La reproduction asexuée d'individus se réalise à partir d'un plant mère, sans intervention de méiose ni de fécondation.</p> <p>Dans des conditions favorables, la reproduction asexuée repose sur des divisions mitotiques et conduit à une multiplication importante d'individus. Ces individus conservent le même génome parental aux mutations près mais peuvent présenter une variabilité phénotypique.</p> <p>La capacité de néoformer ou de régénérer des organes repose sur les propriétés de l'appareil végétatif (ramification et dans certains cas, mise en réserve) et la plasticité des cellules végétales (capacité de dédifférenciation et totipotence).</p> <p>La reproduction asexuée contribue à la dissémination des Angiospermes. Ce mode de reproduction a des conséquences biologiques et écologiques au sein des populations.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Illustrer différentes modalités naturelles de multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés (marcottage) ou par néoformation d'organes spécialisés (stolons, tubercules, bulbilles).</li> <li>- À partir d'observations d'échantillons complets, de dissections et de prélèvements judicieux : <ul style="list-style-type: none"> <li>• déterminer la nature de l'organe de multiplication végétative ;</li> <li>• discuter de ses capacités de dissémination et de ses modalités de multiplication.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>La détermination raisonnée des organes de multiplication végétative et de leurs modalités de multiplication se limite aux cas suivants sans multiplier les exemples : marcottage naturel ; formation de stolons, tubercules, et bulbilles.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Organes de réserve (SV-B-2-3)</p> <p>Développement de l'appareil végétatif des angiospermes (SV-B-3-1)</p> <p>Mitose (SV-F-1-2)</p> <p>Accroissement d'effectif d'une population (SV-J-1)</p>	
<b>SV-G-3 La reproduction sexuée des Mammifères</b>	
<p>La reproduction sexuée des Mammifères fait intervenir une seule génération comme chez tous les Métazoaires. Les gamètes sont produits au sein de gonades par méiose et différenciation (gamétogenèse).</p> <p>La production des spermatozoïdes est généralement continue, alors que celle des ovocytes est cyclique.</p> <p>La reproduction sexuée implique une phase de rapprochement des gamètes (chimiotactisme).</p> <p>La fécondation s'accompagne d'un tri allélique qui influe sur les processus de diversification.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relier l'organisation des gamètes à leurs rôles complémentaires dans la fécondation.</li> <li>- À partir de l'observation de coupes histologiques et d'électronographies : <ul style="list-style-type: none"> <li>• interpréter l'organisation des gonades en lien avec leurs fonctions ;</li> <li>• repérer les cellules reproductrices.</li> </ul> </li> <li>- Mettre en relation les modalités de reproduction sexuée avec les contraintes du milieu de vie.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>La connaissance des étapes de la gamétogenèse se limite à ce qui est nécessaire pour interpréter des coupes histologiques.</i></p> <p><i>La comparaison de la reproduction d'un Mammifère réalisant une parade nuptiale, à celle de la moule, est l'occasion de discuter des modalités de reproduction sexuée en milieu aérien et aquatique et de caractériser les stratégies r et K.</i></p>	
<p>La fécondation repose sur la reconnaissance intraspécifique entre la membrane du spermatozoïde et la zone pellucide ovocytaire. Cette étape, accompagnée de la réaction acrosomique, permet la fusion des gamètes puis l'amphimixie. Elle s'accompagne de processus limitant la polyspermie.</p> <p>La formation du zygote restaure le caryotype de l'espèce. Le zygote possède une combinaison allélique unique.</p> <p>Les pratiques de sélection agronomique exploitent les données génomiques connues des espèces domestiquées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les apports des deux gamètes à la formation du zygote.</li> <li>- Analyser quelques croisements chez les Mammifères pour identifier les caractères indépendants ou liés des gènes et déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles.</li> <li>- Évaluer la diversité génétique créée après un croisement.</li> </ul>

**Précisions et limites :**

Seul le processus de reconnaissance entre la zone pellucide et le spermatozoïde est détaillé au niveau moléculaire en lien avec le caractère intraspécifique de la fécondation.

La sélection agronomique est illustrée à partir d'un seul exemple.

**Liens :**

Fonction de reproduction d'un Bovidé (SV-A-1)

Dynamique du cytosquelette (SV-C-2)

Couplage énergétique permettant le fonctionnement des protéines motrices (SV-E-2)

Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-F-4)

## SV-H Mécanismes du développement : exemple du développement du membre des Tétrapodes (BCPST 2)

L'étude des mécanismes de développement chez les Métazoaires est conduite à partir de l'organogenèse du bourgeon de membre chez les Vertébrés Tétrapodes. Après une étude générale des étapes du développement, l'analyse de résultats expérimentaux conduit à identifier les mécanismes cellulaires responsables de la mise en place du membre chiridien. Les processus de différenciation cellulaire sont étudiés dans le cas des cellules musculaires striées squelettiques des membres. Plusieurs espèces modèles de Tétrapodes sont exploitables pour l'analyse des faits et des résultats expérimentaux.

**Savoirs visés****Capacités exigibles****SV-H-1 Les étapes du développement embryonnaire chez les Vertébrés**

Le développement embryonnaire débute à la fécondation et s'achève lors de l'éclosion ou de la naissance. Plusieurs étapes conduisent à la formation d'un organisme présentant les caractéristiques morphologiques et anatomiques de son espèce :

- segmentation
- gastrulation
- neurulation
- organogenèse.

Ces différentes étapes mettent en jeu des processus cellulaires tels que la prolifération (mitose), les changements de forme et la mobilité de cellules ou d'ensemble de cellules, la différenciation et la mort cellulaire programmée.

Au cours de la gastrulation, trois feuillets cellulaires primordiaux (ectoderme, mésoderme, endoderme) sont mis en place. Ces feuillets génèrent tous les tissus somatiques de l'organisme.

- Identifier sur des embryons *in toto* et des coupes, les différents stades de développement embryonnaire.
- Exploiter des données de marquage pour
  - définir le concept de lignage cellulaire ;
  - caractériser les mouvements cellulaires au cours de la gastrulation.

**Précisions et limites :**

L'analyse des différentes étapes du développement embryonnaire est conduite sur des échantillons d'Amphibien. Seules les quatre étapes du développement embryonnaire avec leurs principales caractéristiques macroscopiques et cellulaires sont à retenir. Les mécanismes cellulaires et moléculaires ne sont pas exigibles dans cette partie.

<b>SV-H-2 Développement du bourgeon de membre</b>	
<p>Le membre chiridien des Vertébrés Tétrapodes est formé à partir d'un bourgeon de membre au cours de l'organogenèse. Il développe trois segments successifs orientés selon trois axes de polarité.</p> <p>Le dernier, l'autopode, forme, par un processus de mort cellulaire programmée, un nombre de doigts variable selon les espèces.</p> <p>Les axes de polarité du membre sont mis en place par des centres inducteurs qui interagissent par la diffusion de facteurs paracrines. Des cascades d'induction spécifient ainsi progressivement des territoires et des cellules. Elles modifient les caractéristiques de leurs réponses aux signaux (compétence) et spécifient de proche en proche leur devenir.</p> <p>La position des membres le long de l'axe antéro-postérieur ainsi que l'identité des différents segments du membre sont le produit d'une combinaison d'expression de gènes homéotiques (gènes <i>Hox</i>). Ces gènes codent des facteurs de transcription.</p> <p>Les gènes <i>Hox</i> sont organisés en complexes chromosomiques. Leur patron d'expression spatial et temporel est corrélé à leur position dans les complexes chromosomiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer l'organisation du membre chiridien des Tétrapodes au sein d'un même organisme (variations selon les ceintures) et entre organismes (variations selon les taxons).</li> <li>- Caractériser différentes étapes du développement du membre à partir de clichés (microscopie optique ou électronique, hybridation <i>in situ</i>, immunocytochimie, radiographie aux rayons X).</li> <li>- Exploiter des données expérimentales pour montrer l'existence de plusieurs centres inducteurs du développement du bourgeon de membre et leur rôle dans la mise en place des polarités du membre.</li> <li>- Discuter du concept d'induction à l'aide de données montrant l'importance de l'âge et de la localisation des territoires inducteurs ou induits dans la réalisation du développement du membre.</li> <li>- Exploiter des données expérimentales afin de montrer le rôle inducteur et morphogène de facteurs paracrines.</li> <li>- Analyser des données d'expression génétique pour corrélérer l'organisation génomique des gènes <i>Hox</i> et leur patron d'expression.</li> <li>- Exploiter des données pour mettre en évidence le rôle des gènes <i>Hox</i> dans l'acquisition de l'identité des membres et de leurs différents segments.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les mécanismes moléculaires de la mort cellulaire programmée ne sont pas au programme.</i></p> <p><i>Les données expérimentales sont fondées sur les techniques suivantes dont les principes doivent être connus : hybridation <i>in situ</i>, ablation et greffe de groupes de cellules, application de facteurs diffusibles, étude d'organismes génétiquement modifiés, expression de gènes rapporteurs.</i></p> <p><i>On propose un modèle simple d'interactions entre centres inducteurs limité à quelques facteurs paracrines (famille des FGF, Shh, Wnt).</i></p> <p><i>Le détail des voies de signalisation n'est pas exigible.</i></p> <p><i>On se limite à étudier les mécanismes de spécification de l'identité des membres selon leur position dans l'axe antéro-postérieur et de l'identité des segments selon l'axe proximo-distal.</i></p>	
<b>SV-H-3 Différenciation d'un type cellulaire : la cellule musculaire striée squelettique</b>	
<p>Le membre chiridien est constitué de nombreux tissus qui assurent en particulier le soutien et la mobilité de l'organisme.</p> <p>Les cellules musculaires (ou myocytes) striées squelettiques forment des muscles insérés sur les os par des tendons, innervés par des motoneurons et irrigués par le système sanguin. La cellule musculaire est plurinucléée et organisée par des myofibrilles formées par la répétition de sarcomères qui sont les unités contractiles. Un couplage chimio-mécanique entre les filaments d'actine et de myosine assure la contraction. Cette dernière est dépendante d'un flux calcique déclenché par un potentiel d'action.</p> <p>Les cellules musculaires striées squelettiques des membres sont issues de la différenciation de cellules souches provenant des somites et donnant naissance à des précurseurs (les myoblastes). La différenciation cellulaire est un processus séquentiel ; elle implique l'arrêt de la prolifération cellulaire. La maturation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une préparation microscopique de muscle strié squelettique coloré ou non.</li> <li>- Identifier des cellules musculaires striées squelettiques en microscopies optique et électronique.</li> <li>- Illustrer la notion de cellule différenciée à l'aide de l'étude de la cellule musculaire striée squelettique.</li> </ul>

<p>terminale est dépendante de leur innervation par des motoneurones.</p> <p>La détermination puis la différenciation des cellules musculaires reposent sur l'expression séquentielle de facteurs de transcription spécifiques contrôlée par des rétroactions entre les facteurs de transcription et des signaux paracrines.</p>	<p>- Analyser des données pour argumenter le rôle de gènes dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les modalités du couplage excitation-contraction ne sont pas exigibles.</i></p> <p><i>On analyse des données relatives aux gènes myogéniques et à leur rôle dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Organisation fonctionnelle des vertébrés tétrapodes (SV-A-1)</p> <p>Organisation des cellules eucaryotes et relation entre organisation cellulaire et fonction (SV-C-1, SV-C-2).</p> <p>Contrôle de l'expression génétique par des facteurs de transcription (SV-F-3).</p> <p>Complémentarité des gamètes, modalités de la fécondation chez les Mammifères (SV-G-3)</p> <p>Modalités de communications intercellulaires - notion de paracrinie (SV-I-2)</p>	

<p><b>SV-I Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme (BCPST 2)</b></p>	
<p>Le fonctionnement d'un organisme pluricellulaire repose sur la coopération entre différents tissus, organes et appareils. La coordination des différentes structures est fondée sur des communications entre cellules par le biais de messagers chimiques ou de signaux électriques. Les modalités et les exemples de communication intercellulaire abordés sont choisis parmi les contrôles développés dans les différentes parties du programme.</p> <p>Dans cette partie, l'intégration d'une fonction à l'échelle d'un organisme est conduite à partir de l'exemple de la fonction circulatoire chez les Mammifères. L'étude de la circulation sanguine systémique est l'occasion de développer les principes d'une régulation et d'une adaptation physiologique à partir de l'étude de la pression artérielle.</p>	
<p><b>Savoirs visés</b></p>	<p><b>Capacités exigibles</b></p>
<p><b>SV-I-1 Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères</b></p>	
<p>La circulation sanguine est un système de distribution à haut débit du sang (plasma et éléments figurés). Le système circulatoire sanguin des Mammifères est organisé par deux circulations en série : circulation systémique et circulation pulmonaire.</p> <p>Les artères, réservoir de pression, distribuent le sang aux réseaux de capillaires.</p> <p>Les capillaires constituent la surface d'échanges entre le sang et le milieu interstitiel selon trois grandes modalités : transports transmembranaires, transcytose et filtration-réabsorption. Les veines collectent le sang et constituent un réservoir de volume.</p> <p>La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire) dépendants des activités cardiaque et vasculaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser l'organisation histologique et anatomique des différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies.</li> <li>- Relier les caractéristiques des vaisseaux sanguins à leurs propriétés fonctionnelles (débit, vitesse et pression sanguins, résistance vasculaire, compliance).</li> <li>- Expliquer l'importance fonctionnelle de l'organisation en dérivation de la circulation systémique.</li> <li>- Représenter les échanges capillaires par filtration-réabsorption selon le schéma de Starling et discuter de leur importance pour l'homéostasie du milieu intérieur.</li> <li>- Utiliser la loi de Hagen-Poiseuille pour modéliser les relations entre pression et débit sanguins à l'échelle d'un vaisseau et à l'échelle de la circulation systémique (en incluant un paramètre de résistance périphérique totale)</li> <li>- Définir la relation entre pression artérielle moyenne et pression artérielle différentielle.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>L'étude histologique et anatomique porte sur les artères musculaires, artérioles, veines musculaires et capillaires continus.</i></p> <p><i>La présence de cellules dans le sang est citée sans développement.</i></p>	

<p>Le cœur est un muscle à rôle de pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global. Le cœur présente un fonctionnement cyclique caractérisé par une succession de systoles et de diastoles.</p> <p>Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des propriétés du tissu nodal. Ce dernier a la capacité de générer, de façon cyclique, des potentiels d'action. Ces derniers sont propagés au sein du tissu de conduction et génèrent des potentiels d'action dans le tissu musculaire cardiaque. Ceux-ci provoquent la contraction du cœur selon la séquence caractéristique du cycle cardiaque.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur un cœur de Mammifère : <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier les différentes cavités et valvules ;</li> <li>• reconnaître les vaisseaux en connexion avec les cavités cardiaques ;</li> <li>• expliquer la circulation unidirectionnelle du sang à partir de l'analyse des dispositifs anatomiques.</li> </ul> </li> <li>- À partir d'une préparation microscopique, présenter l'organisation fonctionnelle du tissu myocardique contractile.</li> <li>- Relier les étapes du cycle cardiaque au rôle de pompe du cœur.</li> <li>- Mettre en relation débit cardiaque, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique.</li> <li>- Relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme et les vitesses de propagation de l'excitation cardiaque avec la séquence de contraction.</li> <li>- Relier les caractéristiques du potentiel d'action des cellules du nœud sinusal aux variations de conductances ioniques constatées.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>L'étude des potentiels d'action est limitée à celui généré par le nœud sinusal.  La technique d'électrocardiographie n'est pas exigible.  Le couplage excitation/contraction des cardiomyocytes n'est pas au programme.</i></p>	
<p>La pression artérielle moyenne est maintenue dans une gamme de valeurs restreinte, variable selon les individus et les conditions, par des mécanismes de régulation. Le baroréflexe rectifie les écarts à la valeur de consigne de la pression artérielle mesurée à partir de récepteurs. Les centres intégrateurs, situés dans le système nerveux central, modifient l'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les informations vers les effecteurs transitent par les nerfs sympathiques et parasympathiques du système nerveux autonome.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyser des résultats expérimentaux afin d'identifier la nature et le rôle des différentes composantes de la boucle de régulation du baroréflexe.</li> <li>- Expliquer les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Dans le cadre du baroréflexe, on ne discute que des barorécepteurs de haute pression.  On se limite à présenter les voies centripètes et centrifuges du système nerveux autonome sans détailler les centres intégrateurs du système nerveux central et les relais ganglionnaires.</i></p>	
<p>Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés par des changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires sont le produit de contrôles nerveux, hormonaux et paracrines.</p> <p>Des récepteurs vasculaires et musculaires informent les centres intégrateurs de l'état physiologique de l'organisme au cours de l'effort.</p> <p>Les boucles de contrôle forment ainsi des réseaux interconnectés modifiant l'activité des effecteurs en fonction de la situation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en relation les variations des différents paramètres circulatoires au cours d'un effort physique (pression artérielle moyenne, résistance périphérique, débit cardiaque, débits sanguins dans les différents organes).</li> <li>- Justifier la notion d'adaptation physiologique à partir de l'analyse des conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle.</li> <li>- Identifier les composantes des systèmes de contrôle globaux et locaux impliqués dans l'adaptation à l'effort physique.</li> <li>- Caractériser différentes périodes de contrôles : au début de la période d'effort, pendant l'effort puis à la fin de la période d'effort.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Le contrôle local est limité aux facteurs de l'hyperhémie active et au monoxyde d'azote.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Fonctions de nutrition d'un organisme animal, boucle de régulation (SV-A-1)  Organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire pulmonaire, relations entre convections externe et interne, rôle de l'hémoglobine dans le sang (SV-B-1)</p>	

<p>Comparaison avec la circulation des sèves chez les Angiospermes (SV-B-2)          Jonctions intercellulaires (SV-C-1)          Echanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane (SV-C-3)          Organisation fonctionnelle de la cellule musculaire striée squelettique (SV-H-3)          Modalités des communications intercellulaires chez les Métazoaires (SV-I-2)</p>	
<p><b>SV-I-2 Communications intercellulaires chez les Métazoaires</b></p>	
<p>Il existe différentes modalités de communications (nerveuse, endocrine, paracrine) complémentaires et en interaction assurant la coordination des fonctions de l'organisme.          Le mode d'action des messagers chimiques (neurotransmetteurs, hormones, facteurs paracrines) sur les cellules cibles requiert l'interaction avec un récepteur spécifique. Les réponses cellulaires sont distinctes selon la compétence de la cellule cible (récepteurs, voies de signalisations activées, contrôle de l'expression génétique). L'extinction du signal est souvent liée à la dégradation des messagers.          Les étapes de transduction intracellulaires permettent l'amplification de la réponse cellulaire aux messagers extracellulaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les modalités de communication : nature des messagers, codage du message, voies de transfert de l'information, vitesse de transfert et de décodage.</li> <li>- Illustrer la diversité des voies de transduction et/ou de réponses possibles pour un même messager chimique.</li> <li>- Présenter une voie de transduction comprenant un relais intracellulaire avec un second messager (voie des protéines G et de l'AMPC) et comparer à une voie impliquant un récepteur intracellulaire.</li> <li>- Illustrer à l'aide d'un exemple un mécanisme de dégradation de messager chimique et son importance physiologique.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : différenciation de la cellule musculaire striée, contrôle de l'activité cardiaque, contrôle de la vasomotricité, interactions paracrines au cours du développement embryonnaire. On se limite à mentionner l'existence d'un récepteur intracellulaire pour les hormones stéroïdes de la reproduction, induisant une modification d'expression génétique.</i></p>	
<p>Les cellules excitables sont caractérisées par leur capacité à générer un potentiel d'action. Le potentiel d'action neuronal s'explique par les variations de conductance de canaux sensibles à la tension (voltage-dépendant). Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'action.          Dans les neurones, le potentiel d'action se propage de façon unidirectionnelle et régénérative le long de l'axone.          Le diamètre des fibres affecte leur conductivité et donc la vitesse de propagation des potentiels d'action, de même que la présence d'une gaine de myéline.          La synapse transmet l'information d'une cellule excitable à une autre. La synapse chimique implique l'exocytose de neurotransmetteurs dans une concentration déterminée par la fréquence de potentiels d'action du message nerveux. Les neurotransmetteurs se lient à des récepteurs ligands-dépendants provoquant une variation de potentiel transmembranaire de la cellule cible.          Dans certaines cellules, ces variations de potentiel transmembranaire conduisent à la genèse de potentiels d'action post-synaptiques.          La diversité des potentiels d'action est liée aux propriétés des canaux impliqués (spécificité ionique, contrôle de l'ouverture et de la fermeture).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser les différentes phases du potentiel d'action neuronal.</li> <li>- Relier la variation du potentiel membranaire aux modifications de conductances provoquées par les canaux ioniques.</li> <li>- Exploiter des enregistrements de patch-clamp pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant.</li> <li>- Expliquer, dans un fonctionnement synaptique, les caractéristiques du transfert d'information : nature du signal, nature du codage, sommation, extinction du signal.</li> <li>- Relier sur un exemple le fonctionnement des récepteurs ligands-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines membranaires (site, allostérie, hydrophobie et localisation...).</li> <li>- Expliquer les modalités de genèse d'un potentiel d'action post-synaptique à partir de l'exemple du potentiel d'action musculaire.</li> <li>- Comparer le potentiel d'action neuronal (motoneurone) et le potentiel d'action des cellules pacemaker du nœud sinusal : phases, durées, séquences de variations de conductance.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Le potentiel d'action du motoneurone et la synapse neuromusculaire servent de support à la présentation des concepts à étudier. On peut s'appuyer sur les acquis de terminale.          Le principe de la technique du patch-clamp est présenté mais l'explication des différents montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible.</i></p>	

*On présente la production du potentiel d'action musculaire à la suite de la stimulation de la cellule par un motoneurone.*

Le message hormonal est délivré par une cellule endocrine à la suite d'une stimulation. Les hormones transitent par le sang en de très faibles concentrations. Les cellules cibles expriment les récepteurs spécifiques et les éléments de la voie de signalisation conduisant à une réponse biologique.

**Précisions et Limites :**

*On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : contrôles de l'activité cardiaque et de la vasomotricité.*

**Liens :**

Relations entre fonctions au sein d'un organisme animal (SV-A-1)  
 Rôles des messagers chimiques dans le développement végétatif ou reproducteur des Angiospermes (SV-B-3)  
 Echanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane, cytosoles (SV-C-3)  
 Modalités de contrôle de l'expression des génomes (SV-F-3)  
 Rôles des facteurs paracrines dans le développement du membre (SV-H-2) et la différenciation de la cellule musculaire striée (SV-H-3)  
 Contrôles de l'activité cardiaque et contrôles de la vasomotricité (SV-I-1)

**SV-J Populations et écosystèmes (BCPST 1)**

Dans cette partie, les populations sont appréhendées sous l'angle de la dynamique des populations. L'aspect évolutif est développé dans la partie évolution et phylogénie. Le concept d'écosystème est abordé à partir de l'exemple de la prairie pâturée en zone tempérée, exemple qui sera complété, pour certains aspects, par celui de l'écosystème forestier tempéré. L'exemple de la pâture permet de définir l'organisation d'un écosystème et de montrer son fonctionnement, tout en prenant en compte l'importance des interventions humaines (« agroécosystème »). Cette partie met en place un canevas général d'analyse de la structure et du fonctionnement des écosystèmes et s'appuie sur des exemples d'organismes présents dans ces écosystèmes et vus ailleurs dans le programme. Les concepts d'écologie sont remobilisés dans les parties de biogéosciences (les grands cycles biogéochimiques, le sol et le climat de la Terre).

**Savoirs visés**

**Capacités exigibles**

**SV-J-1 Les populations et leur démographie**

Les organismes sont regroupés en populations dont les effectifs varient au cours du temps, selon les paramètres démographiques.  
 L'effectif d'une population fluctue sous l'effet de facteurs variés dont les facteurs du biotope et les facteurs intrinsèques à la population.  
 La capacité biotique correspond à l'effectif maximal que peut soutenir un milieu.  
 La variation d'effectif d'une population peut être approchée par des modèles mathématiques simples : croissance exponentielle et croissance logistique.  
 Une métapopulation correspond à un ensemble de populations connectées. Les migrations font varier les effectifs des populations.  
 Les relations interspécifiques sont également responsables de variations des effectifs des populations.

- Analyser des données de variations d'effectifs de populations sous l'effet de facteurs indépendants de la densité (facteurs du biotope), et dépendants de la densité (cas de la densité-dépendance avec compétition intraspécifique).
- Modéliser les variations d'effectifs dans le cas d'une croissance exponentielle et d'une croissance logistique (modélisation numérique) et discuter des limites de ces modèles.
- Discuter dans le cadre du modèle logistique des stratégies démographiques r et K.
- Analyser les effets des relations interspécifiques sur les effectifs des populations dans le cas de la prédation et les modéliser (modèle de Lotka-Volterra).

**Précisions et limites :**

*Les modèles à mémoriser sont ceux de la croissance exponentielle et de la croissance logistique. Le formalisme mathématique du modèle de prédation de Lotka-Volterra n'est pas à mémoriser.*

<p><b>Liens :</b>  Reproduction des organismes et effectifs des populations (SV-G)  Stratégie r et K (SV-G-3)  Relations interspécifiques (SV-J-2-2)  Dynamique des écosystèmes (SV-J-2-4)  Valeur sélective ; forces évolutives (SV-K-1)  Activités de terrain  Mathématiques – informatique</p>	
<p><b>SV-J-2 Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique</b></p>	
<p><b>SV-J-2-1 Organisation des écosystèmes</b></p>	
<p>L'écosystème est un ensemble circonscrit par un observateur/expérimentateur.  La biocénose et le biotope sont les composants de l'écosystème.  La biocénose comprend l'ensemble des populations des différentes espèces, y compris microbiennes.  Elle comporte une diversité intraspécifique, une diversité interspécifique et une diversité de groupes fonctionnels.  La richesse spécifique est une mesure du nombre d'espèces. Il existe des indices de biodiversité tenant compte de l'abondance et de l'équitabilité des différentes espèces.  Les organismes ingénieurs sont des espèces qui construisent le milieu et / ou modifient l'habitat pour d'autres espèces.  La distribution spatiale des composants de l'écosystème détermine sa structure.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présenter la notion de richesse spécifique à partir de l'exemple de la prairie pâturée.</li> <li>- Présenter la notion de groupe fonctionnel dans le cas des végétaux de la prairie.</li> <li>- Mettre en œuvre un protocole d'étude de la diversité spécifique sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation).</li> <li>- Caractériser une structuration spatiale de l'écosystème sur le terrain (cas de la structuration verticale dans l'écosystème forestier).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Aucune formule d'indices de biodiversité n'est exigible : elles sont fournies aux étudiants pour calculer ces indices et interpréter les valeurs des indices dans un contexte donné.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Stratégies r et K (SV-J-1)  Diversité génétique (SV-K-1)  Biodiversité des sols (BG-B-1-1)  Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)  Activités de terrain</p>	
<p><b>SV-J-2-2 – Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème</b></p>	
<p>Au sein de l'écosystème, les espèces entretiennent entre elles des relations variées qui affectent la valeur sélective (<i>fitness</i>) des organismes et la structure de leur population : mutualisme / symbiose, parasitisme / prédation / phytophagie, compétition, commensalisme, amensalisme.  La typologie des relations interspécifiques présente des cas limites qui, pour un couple d'espèce donné, peuvent dépendre du stade et du contexte écologique.  Ces relations interspécifiques modifient la niche écologique potentielle en une niche écologique réalisée.  Les espèces clefs de voûtes sont celles dont la disparition conduit à des modifications importantes de la structure des écosystèmes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discuter de la catégorisation des relations interspécifiques et de leurs limites.</li> <li>- Caractériser des interactions parasitaires, compétitives ou mutualistes.</li> <li>- Analyser sur le terrain et/ou en TP le réseau des diverses relations interspécifiques centré sur un organisme (l'arbre) : épiphytes (dont lichens), parasites / phytophages, organismes mutualistes / symbiotiques, compétiteurs.</li> <li>- Décrire et relier les interactions interspécifiques à la dynamique d'une population et à la délimitation de sa niche écologique réalisée à partir de sa niche écologique potentielle (en particulier dans le cas de l'effet Janzen-Connell sur la végétation).</li> <li>- Expliquer le rôle des bovins, espèce clef de voûte, dans l'entretien d'un milieu ouvert prairial.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les relations interspécifiques sont soutenues par un seul exemple à chaque fois vu ailleurs dans le programme.</i></p>	

Dans une définition basée sur la valeur sélective, la prédation (s.l.) et le parasitisme sont (selon les auteurs) des cas particuliers l'un de l'autre. Bien que polysémique, le mot symbiose est définie ici comme un cas de mutualisme où les partenaires vivent ensemble.

**Liens :**

- Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé (SV-A-1)
- Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2)
- Implications des nodosités fixatrices d'azote et mycorhizes dans la nutrition des Angiospermes (SV-B-2)
- Importance des relations mutualistes dans la pollinisation et la dissémination chez les Angiospermes (SV-G-1)
- Effectif des populations (SV-J-1)
- Interactions trophiques (SV-J-2-3)
- Biodiversité fonctionnelle des sols (BG-B-1-1)
- Activités de terrain

**SV-J-2-3 Fonctionnement des écosystèmes**

Les interactions trophiques constituent des chaînes trophiques où les producteurs primaires et les consommateurs constituent des niveaux trophiques. Tous les consommateurs (y compris microbiens) effectuent une décomposition et une minéralisation. La production primaire est réalisée par les organismes photolithotrophes et chimiolithotrophes. Le fonctionnement des chaînes trophiques peut être représenté quantitativement par des pyramides (biomasse et énergie). Les chaînes trophiques se structurent en réseaux trophiques. Dans le système herbe-vache, la symbiose avec les micro-organismes et l'utilisation croisée des déchets des partenaires augmentent le rendement entre échelons trophiques. Au sein des réseaux trophiques, il existe des régulations des effectifs de leurs maillons de façon descendante (*top-down*) ou ascendante (*bottom-up*). La productivité définie comme la production divisée par la biomasse du producteur, varie selon l'écosystème. Le fonctionnement de ces réseaux contribue au recyclage de la biomasse. L'écosystème est un système ouvert. Le fonctionnement de l'écosystème repose sur un flux de matière et d'énergie (issue du Soleil ou de réactions chimiques).

- Caractériser, pour chaque niveau trophique, la production de biomasse et comparer, pour chaque niveau, les productions (primaire, secondaire, etc.) et les rendements (pertes associées aux transferts entre niveaux trophiques).
- Discuter de la place de la vache (un ruminant) dans les pyramides de production (en biomasse et énergie).
- Comparer les productivités dans les cas de la pâture et de la forêt.
- Montrer l'influence de paramètres abiotiques sur la production primaire (cas des paramètres climatiques et influence des fertilisants dans les sols exclusivement).
- Discuter le rôle des décomposeurs et des chimiolithotrophes (cas de la nitrification) dans le recyclage des ressources minérales.
- Estimer le flux d'énergie dans un écosystème.
- Relier la production primaire et l'utilisation de l'énergie issue du Soleil (phototrophie) ou de réactions chimiques (chimiolithotrophie).
- Établir un bilan quantitatif (matière et énergie) des exportations / importations d'une pâture les informations étant fournies.

**Précisions et limites :**

Les ordres de grandeur des importations et des exportations, des productions sont discutés sans être exigibles. Le rôle des décomposeurs est indiqué et est développé dans la partie sur les sols (BG-B).

**Liens :**

- Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé (SV-A-1)
- Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2)
- Types trophiques des organismes unicellulaires (SV-A-3)
- Métabolisme cellulaire (SV-E-1 ; SV-E-2)
- Cycle du C (BG-A-1) ; cycle de l'azote (BG-A-2)
- Biodiversité fonctionnelle des sols (BG-B-1-1)
- Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)

**SV-J-2-4 Dynamique des écosystèmes**

Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques dans leur structure et leur fonctionnement. Des perturbations abiotiques ou biotiques (dont les perturbations anthropiques) peuvent faire évoluer leur structure et leur fonctionnement. La stabilité d'un écosystème est définie par sa résistance et sa résilience.

- Illustrer la notion de perturbation (fréquence, intensité).
- Montrer, à partir de bilans qualitatifs et quantitatifs fournis, que des perturbations d'origine biotique ou abiotique peuvent modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème.
- Expliquer à l'aide d'exemples la différence entre résistance et résilience d'un écosystème.

<p>La résistance d'un écosystème est sa capacité à maintenir son état initial suite à une perturbation. La résilience d'un écosystème est sa capacité à revenir à son état initial après avoir subi une perturbation. Des successions écologiques sont observables après des perturbations. Les écosystèmes délivrent des services écosystémiques. La gestion des écosystèmes nécessite d'intégrer leurs dynamiques suite à des perturbations.</p>	<p>- Expliquer le rôle de la facilitation écologique et de la compétition interspécifique dans une dynamique de végétation sur l'exemple de l'éclaircissement dans la transition vers la forêt (climax).</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>La notion de service écosystémique, introduite au lycée, est reprise ici (en BCPST 1) et est également réinvestie dans la partie « Les Sols » (en BCPST 2) où deux exemples de services écosystémiques sont détaillés. Aucun exemple de gestion d'un écosystème n'est à mémoriser. Le climax est un état d'équilibre dynamique vers lequel tend spontanément un écosystème, qui peut varier sur le long terme.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Effectif des populations (SV-J-1)  Sols (BG-B)  Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)</p>	

<p><b>SV-K Évolution et phylogénie (BCPST 1 et BCPST 2)</b></p>	
<p>La diversité du vivant est le résultat d'une histoire évolutive et est en devenir permanent. Il s'agit ici de comprendre les mécanismes de l'évolution, à la lumière de la théorie synthétique de l'évolution, qui explique l'origine de la diversité génétique au sein des populations et des espèces, mais aussi de la diversité de celles-ci. La phylogénie permet de reconstruire l'histoire évolutive des taxons. En BCPST 1, l'objectif est de comprendre les principes d'établissement des phylogénies. En outre, il existe d'autres regroupements d'organismes qui ne sont pas en rapport avec la phylogénie. C'est l'occasion de montrer que les classifications n'ont pas toutes la même signification, et que chacune dépend des objectifs du classificateur. En BCPST 2, il s'agit de se centrer sur l'exploitation d'arbres phylogénétiques afin de discuter des scénarios évolutifs. Cette partie permet aussi aux étudiants de prendre du recul sur l'évolution biologique, qui constitue un fil rouge des programmes scolaires, et qui vise à dépasser des obstacles épistémologiques. Il s'agit notamment de dépasser une pensée finaliste en mobilisant un raisonnement sélectif darwinien et en laissant sa place au hasard. On évite aussi toute forme de fixisme (il n'y a ni fossile vivant, ni organisme primitif, ni pérennité de l'espèce).</p>	
<p><b>Savoirs visés</b></p>	<p><b>Capacités exigibles</b></p>
<p><b>SV-K-1 Les mécanismes de l'évolution (BCPST 2)</b></p>	
<p>Les mécanismes de l'évolution peuvent être étudiés par différentes approches, dont l'évolution expérimentale. Les mutations sont aléatoires et engendrent du polymorphisme dans une population. Les flux migratoires peuvent augmenter ou réduire le polymorphisme d'une population. La sélection est un processus majeur de reproduction différentielle, où la valeur sélective (<i>fitness</i>) se mesure au nombre de descendants viables et fertiles produits. La valeur sélective d'un trait génétique dépend de l'environnement ; elle diminue parfois la valeur sélective d'autres traits (compromis évolutif). La sélection exerce un tri orienté de la diversité génétique, mais peut aussi entretenir un polymorphisme dans certains cas. La dérive génétique exerce un tri aléatoire dont l'intensité dépend de la taille des populations.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Argumenter la notion de compromis évolutif à partir de l'exemple des caractères potentiellement handicapants des mâles.</li> <li>- Comparer sélection directionnelle et sélection balancée.</li> <li>- Exploiter des données pour déterminer une modalité de sélection sur des traits quantitatifs.</li> <li>- Discuter de facteurs de sélection et de la valeur sélective d'un trait de caractère à partir de documents fournis.</li> <li>- Modéliser, à l'aide d'un logiciel, des cas de sélection ou de dérive afin d'expliquer l'évolution d'une population.</li> <li>- Distinguer les effectifs efficace et total d'une population dans l'intensité de la dérive.</li> <li>- Mettre en relation le hasard et l'évolution de la biodiversité à partir de l'exemple de la crise Crétacé-Paléocène (dérive à partir des taxons survivants).</li> </ul>

<p>Elle agit sur tous les traits mais agit seule sur les traits neutres. La biodiversité actuelle est donc à la fois le résultat de sélections et de dérives.</p>	
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On pourra s'appuyer notamment sur les expériences historiques de Luria et Delbrück (1948) et de Buri (1956) pour argumenter respectivement le caractère aléatoire des mutations et la dérive. La sélection balancée est construite sur l'exemple du locus S des Angiospermes ou de la proportion des mâles et des femelles afin de s'appuyer sur un exemple où seule la sélection intervient dans le maintien du polymorphisme. Pour la dérive génétique, on s'appuie sur un exemple d'effet fondateur.</i></p>	
<p>L'espèce, qui joue un grand rôle dans la description de la biodiversité observée, est un concept élaboré par l'être humain. Chez les Eucaryotes, les isolements reproducteurs conduisant à des isolements génétiques permettent de définir des espèces biologiques. Cet isolement conduit à des spéciations allopatriques ou sympatriques. Néanmoins, les transferts horizontaux et les hybridations (qui induisent des introgressions) sont des limites à ces isolements. Ces phénomènes entraînent une évolution réticulée du vivant. Les espèces et les populations ne sont pas pérennes car elles sont constituées d'individus qui varient et sont soumis à la sélection et la dérive ; de plus elles peuvent s'éteindre. Sous l'effet de relations interspécifiques, les espèces sont en évolution permanente ou s'éteignent (théorie de la Reine Rouge) : c'est la coévolution, qui peut s'accompagner de cospéciation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discuter différentes définitions de l'espèce, leurs contextes d'usage et leurs limites (définition biologique, phénotypique, écologique, phylogénétique, ...).</li> <li>- Exploiter des données scientifiques démontrant des cas de spéciation.</li>   <li>- Argumenter la coévolution entre deux espèces pour un cas déterminé (plante-pollinisateur, hôte-parasite)</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>On étudiera un cas de spéciation allopatrique et un cas de spéciation sympatrique. La coévolution plante-pollinisateur peut s'appuyer utilement sur les analyses florales conduites en travaux pratiques</i></p>	
<p>Les espèces, formées de populations plus ou moins connectées entre elles, peuvent être étudiées comme des ensembles ou des réservoirs d'allèles. Chez les diploïdes, l'hétérozygotie est plus ou moins maintenue selon le régime de reproduction (asexué ou sexué plus ou moins panmixtique). Le polymorphisme existant dans les populations est affecté par les mutations, la migration, la sélection et la dérive. Le modèle de Hardy-Weinberg permet de caractériser les écarts à l'équilibre attendu en panmixie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les conséquences génétiques de la reproduction sexuée versus asexuée.</li> <li>- Comparer les conséquences génétiques de l'homogamie et de l'hétérogamie.</li> <li>- Comparer des données acquises par l'observation ou issues de publications aux proportions attendues d'après le modèle de Hardy-Weinberg et les interpréter.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> <i>Le modèle de Hardy-Weinberg (présenté comme modèle par défaut ou « modèle nul ») est étudié en terminale : il s'agit ici de le remobiliser et d'enrichir l'étude de la génétique des populations, notamment avec l'impact du régime de reproduction. Les conséquences génétiques de l'hétérogamie sont étudiées pour le locus S des Angiospermes. Les tests statistiques vus en mathématiques peuvent être remobilisés en génétique des populations.</i></p>	
<p><b>Liens :</b> Notions d'adaptation, de convergences et de régressions évolutives (SV-B-3-3) Diversité génétique, mutations, brassages génétiques et transferts horizontaux de gènes (SV-F-4) Modalités favorisant la fécondation croisée ou le tri allélique ; sélection agronomique (SV-G) Variation d'effectif des populations (SV-J-1) Biocénose et diversité ; richesse spécifique (SV-J-2-1) Relations interspécifiques (SV-J-2-2) Phylogénie et biodiversité (SV-K-2-1) Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)</p>	

## SV-K-2 Une approche phylogénétique de la biodiversité (BCPST 1 et BCPST 2)

### SV-K-2-1 Classer la biodiversité (BCPST 1)

Plusieurs types de classification existent en biologie selon les objectifs poursuivis : utilitaire, fonctionnel (écologique, physiologique), phylogénétique. Elles s'appuient sur différents caractères : fonctionnels, morphologiques, anatomiques, embryologiques (pour les pluricellulaires), biochimiques ou moléculaires (en plein essor grâce aux outils de la biologie moléculaire et de la bioinformatique). Les classifications utilisent la ressemblance, qui peut être due à des homoplasies ou à des homologies.

Les classifications phénétiques classent les taxons selon leur ressemblance globale (exemple des méthodes de distances génétiques). Elles sont de moins en moins utilisées en taxonomie.

Les classifications post-darwiniennes cherchent à refléter les parentés évolutives. Les classifications dites évolutionnistes ne retenaient que les homologies mais acceptaient les groupes paraphylétiques ; elles ne sont plus utilisées en taxonomie. Les classifications phylogénétiques (ou cladistiques) ne retiennent que les ressemblances particulières à une partie des organismes à classer (ce sont les synapomorphies, ou caractères partagés à l'état dérivé) : elles définissent des groupes monophylétiques.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour élaborer des phylogénies. Certaines utilisent des groupes externes (actuels ou fossiles), ce qui permet d'identifier les états ancestraux (plésiomorphes) et dérivés (apomorphes) des caractères. La plupart des autres analyses reposent sur des méthodes déterminant l'arbre le plus probable au regard d'un modèle évolutif postulé. Dans ce cas, les plésio et apomorphies sont reconnues *a posteriori*, comme un produit de l'analyse.

Le principe de parcimonie retient l'arbre qui maximise la cohérence des caractères, c'est-à-dire qui nécessite le moins de changements évolutifs. D'autres méthodes se fondent sur des modèles probabilistes (fixant les probabilités des changements évolutifs) pour déterminer le ou les arbres le(s) plus probable(s) selon le modèle retenu (comme l'approche du maximum de vraisemblance).

- Distinguer classification (utilisée pour la création des taxons) et tri (par exemple pour la détermination des individus).
- Distinguer sur un arbre phylogénétique des groupes mono-, para- et polyphylétiques.
- Argumenter la validité ou non de certains groupes en phylogénie et discuter le maintien d'usage de certains groupes para- ou polyphylétique selon le domaine de validité (ex. phylogénie, écologie, vie quotidienne).
- Identifier les synapomorphies, les symplesiomorphies et les convergences sur un arbre phylogénétique.
- Construire une phylogénie par parcimonie (cladogramme) à partir d'un jeu limité de taxons et de caractères fournis (chez les Métazoaires ou les Embryophytes)
- Réaliser et exploiter des alignements de séquences afin de construire un arbre phylogénétique à partir d'une méthode fournie avec l'aide ou non d'un logiciel dédié.

#### **Précisions et limites :**

*On distingue des groupes phylogénétiques des groupes fonctionnels (écologiques, physiologiques) mais polyphylétiques vus dans les autres parties du programme et lors des sorties. On se contente de mentionner l'existence du principe du maximum de vraisemblance. Aucune méthode de calcul ou test statistique n'est au programme.*

*L'étude de la phylogénie est l'occasion de conduire une réflexion d'ordre épistémologique sur la nature des savoirs scientifiques et leur élaboration. Il s'agit notamment d'accéder au caractère provisoire et réfutable des savoirs scientifiques (évolution des phylogénies au cours de l'histoire des sciences), à l'ancrage théorique des savoirs scientifiques (notamment dans la relation entre classification et théorie de l'évolution), à leur dépendance aux techniques d'étude du réel (développement d'outils bioinformatiques, moléculaires, etc.). Le principe de parcimonie est introduit en lien avec sa portée plus générale de maximisation de la cohérence d'une théorie et d'un modèle scientifiques (principe d'économie des hypothèses ou rasoir d'Occam). Il peut aussi être présenté comme une variante du maximum de vraisemblance avec un poids équivalent pour tous les événements évolutifs.*

**Liens :**

Regards sur les organismes (SV-A)

Organisation des génomes et techniques de biologie moléculaires (SV-F)

**SV-K-2-2 Analyser des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs (BCPST 2)**

Plusieurs arbres du vivant se sont succédés depuis les premières classifications phylogénétiques avec l'enrichissement des données sur la biodiversité et l'évolution des technologies moléculaires.

Les virus ne sont pas placés dans l'arbre du vivant.

La racine de l'arbre des Eucaryotes est encore sujette à discussion. Cet arbre illustre la divergence évolutive, la possibilité d'évolution régressive et l'homoplasie (convergence et réversion). C'est le cas par exemple pour la possession de plastes et l'état pluricellulaire.

Certains groupes définis par leurs ressemblances écologiques témoignent d'une convergence évolutive, comme les végétaux (au sens des organismes réalisant la photosynthèse oxygénique), les algues ou les champignons.

La confrontation d'arbres phylogénétiques peut révéler des coévolutions et/ou cospéciations.

- Identifier un transfert horizontal de gène comme une différence de topologie (incongruence) entre les arbres phylogénétiques basés sur ce gène et sur d'autres gènes.

- Argumenter l'absence des virus dans l'arbre du vivant.

- Argumenter que l'évolution ne peut pas être présentée en termes de « progrès », qu'elle peut être simplificatrice, et qu'elle n'a ni direction, ni but.

- Exploiter des données afin de discuter l'histoire évolutive d'un groupe, les données et les arbres phylogénétiques étant fournies.

- Argumenter la théorie endosymbiotique des plastes ainsi que les endosymbioses primaires et secondaires des plastes.

- Identifier et expliquer des convergences évolutives.

- Réaliser des observations macroscopiques et microscopiques, avec ou sans coloration, afin de mettre en évidence des caractères des algues exploitables dans le cadre d'une analyse phylogénétique.

- Exploiter des données biochimiques et des clichés de microscopie électronique d'algues et d'organismes unicellulaires pour discuter leur place dans l'arbre phylogénétique ou la signification évolutive d'un de leurs caractères.

**Précisions et limites :**

*Cette partie s'appuie sur les organismes vus par ailleurs dans le programme, au cours des travaux pratiques et des sorties. L'arbre des Eucaryotes est fourni aux étudiants pour conduire une analyse phylogénétique.*

*Les endosymbioses primaires et secondaires sont étudiées à partir de l'exemple des algues hétérocontes (algues brunes et diatomées) et des Archéoplastidés (ou Lignée verte).*

*Les pertes de la pluricellularité sont traitées avec l'exemple des levures.*

*La diversité des algues est abordée notamment en travaux pratiques avec les exemples des algues unicellulaires, filamenteuses (Antithamion ou Polysiphonia), en lame (Ulva) et à thalle ramifié/complexe (Fucus).*

*La diversité des unicellulaires est abordée notamment en travaux pratiques avec les exemples de E. coli, Nitrobacter sp., Rhizobium sp., Saccharomyces cerevisiae, paramécies, Trypanosoma sp., diatomées, Chlamydomonas sp..*

**Liens :**

Regards sur les organismes (SV-A)

Diversité génétique (SV-F-4)

Homologie ; Convergence et régression évolutives (SV-A ; SV-B ; SV-G-1 ; SV-G-2)

## Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Sciences de la vie »

	<b>BCPST 1</b>	<b>BCPST 2</b>
<b>SV-A L'organisme vivant en interaction avec son environnement</b>	4 ou 5 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (morphologie, anatomie, histologie) : souris, Téléostéen, criquet et moule.	Activités pratiques sur les organismes unicellulaires étudiés dans une séance de la partie évolution et phylogénie (SV-K-2)
<b>SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 séances « morphologie et anatomie primaire des Angiospermes »</li> <li>• Activités pratiques sur la respiration en lien avec les 4 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (SV-A)</li> </ul>	2 séances « développement et anatomie des structures secondaires ; adaptations des Angiospermes »
<b>SV-C La cellule dans son environnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 séances « observations microscopiques de tissus et de cellules »</li> </ul>	
<b>SV-D Organisation fonctionnelle des molécules du vivant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 séances « méthodes d'étude des protéines » : analyse de résultats d'extraction et de purification ; électrophorèse ; exploitation de données de modélisation moléculaire ; détermination de la localisation et de la fonction</li> </ul>	
<b>SV-E Le métabolisme cellulaire</b>	1 séance « caractérisation d'une enzyme »	
<b>SV-F Génomique structurale et fonctionnelle</b>	3 séances <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 séances « méthodes d'étude des génomes et de leur expression »</li> <li>• 1 séance « divisions cellulaires »</li> </ul>	Activités pratiques en lien avec une séance reproduction (SV-G)
<b>SV-G Reproduction</b>	2 séances « structure, détermination et biologie florale »	2 séances « reproduction » dont l'une en lien avec la partie génomique (SV-F)
<b>SV-H Mécanismes du développement : exemple du développement du membre des Tétrapodes</b>		2 séances <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vue d'ensemble du développement embryonnaire</li> <li>• Développement du membre des Tétrapodes</li> </ul>
<b>SV-I Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme</b>		1 séance « étude anatomique et histologique du cœur et des vaisseaux (Mammifères) »
<b>SV-J Populations et écosystèmes</b>	2 séances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 séance « populations »</li> <li>• 1 séance « écosystèmes »</li> </ul>	
<b>SV-K Évolution et phylogénie</b>	1 séance « reconstruction phylogénétique »	3 séances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 séance « mécanismes de l'évolution »</li> <li>• 2 séances « analyse phylogénétique » (dont l'une en lien avec la partie SV-A sur les organismes unicellulaires)</li> </ul>
<b>TOTAL</b>	<b>19 ou 20 séances</b>	<b>10 séances</b>

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain en BCPST 1 et 2.

## BG-A Les grands cycles biogéochimiques (BCPST 2)

Cette partie traite des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote ainsi que de l'impact des activités humaines sur ces cycles biogéochimiques. La section sur le cycle du carbone est l'occasion de présenter les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément (réservoir, flux, temps de résidence). La section sur le cycle de l'azote, facteur limitant la croissance des plantes dans la majorité des écosystèmes terrestres, montre l'importance des transformations microbiennes au cours de ce cycle et permet d'aborder la notion de couplage entre cycles biogéochimiques du carbone et l'azote.

Transversale et intégrative, cette partie mobilise des acquis en sciences de la vie (métabolisme et écologie), en sciences de la Terre et est étroitement articulée avec les autres parties de biogéosciences (étude des sols et du climat).

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### BG-A-1 Le cycle du carbone

Le carbone se trouve sous différentes formes dans différents réservoirs vivants ou inertes : carbone réduit (biomasse actuelle et fossile), carbone oxydé (CO, CO<sub>2</sub>, carbonates).

Des flux physico-chimiques et/ou biotiques relient ces réservoirs. Ces flux correspondent à des conversions (exemple de la photosynthèse et de la respiration) et/ou à des transferts physiques (exemple de la pompe physique du carbone dans l'océan).

Le temps de résidence du carbone diffère selon les réservoirs.

- Caractériser les principaux réservoirs du carbone : ordre de grandeur de leurs tailles respectives et temps de résidence du carbone dans ces réservoirs.
- Quantifier l'ordre de grandeur de deux échanges annuels dans le cas du CO<sub>2</sub> atmosphérique : échanges avec la biomasse et avec l'océan.
- Représenter schématiquement le cycle biogéochimique du carbone.
- Expliquer le rôle des organismes vivants sur l'altération des roches et comment cette altération induit la précipitation des carbonates.
- Expliquer le rôle de l'altération des silicates dans le piégeage du carbone.
- Argumenter sur l'existence de sous-cycles lents et rapides dans le cycle du carbone.
- Identifier les temps de résidence respectifs de deux gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub>) dans l'atmosphère.

#### Précisions et limites :

*Déjà abordé au lycée, il s'agit de remobiliser ici le cycle du carbone et le préciser dans les aspects quantitatifs et dans la diversité des mécanismes impliqués aux différentes échelles de temps.*

*Les voies biochimiques de production et de dégradation du méthane ne sont pas au programme.*

*Cette partie est aussi l'occasion de comprendre qu'un cycle est lié à des mécanismes évolutifs sous-jacents : l'existence de recyclages liés à des métabolismes biologiques qui bouclent le cycle (pas de point d'accumulation) est liée à la sélection naturelle qui favorise l'émergence de métabolismes utilisant des produits accumulés par d'autres espèces ou de processus physico-chimiques.*

#### Liens :

Métabolisme et types trophiques (SV-E)  
Minéralisation et cycle de l'azote (BG-A-2)  
Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1-1)  
Réchauffement climatique (BG-C-3)  
Formation des roches carbonatées (ST-E-2)

#### BG-A-2 Le cycle de l'azote

L'azote existe sous des formes organiques et minérales. Il se trouve sous différentes formes minérales en solution (dont l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, le nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et dans l'atmosphère (dont l'oxyde nitreux N<sub>2</sub>O, le diazote N<sub>2</sub>).

- Identifier les flux entre les différentes formes azotées (parmi lesquels l'ammonification, la nitrification, la dénitrification, la fixation du N<sub>2</sub> atmosphérique et l'assimilation de l'azote).
- Représenter schématiquement le cycle biogéochimique de l'azote.

<p>Les flux biotiques ont une place prépondérante dans le cycle de l'azote. De nombreuses étapes du cycle de l'azote sont purement microbiennes.</p> <p>L'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) est un gaz à effet de serre qui est produit par les processus microbiens de nitrification et de dénitrification.</p> <p>La matière organique comporte du carbone et de l'azote, sa minéralisation implique un couplage entre le cycle du carbone et le cycle de l'azote.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une préparation microscopique de nodosités et expliquer leur rôle dans le cycle de l'azote.</li> <li>- Expliquer le couplage entre le cycle du carbone et celui de l'azote dans le cas de la minéralisation de la matière organique dans les sols, par l'étude du rapport C/N de la matière organique, du type d'humus (mull et moder) et des caractéristiques abiotiques et biotiques du sol.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Seuls les flux précisés dans la colonne capacités exigibles doivent être connus.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Chimolithotrophie des bactéries nitrifiantes (SV-E-1)</p> <p>Fixation d'azote par les Fabacées (SV-B-2)</p> <p>Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1)</p> <p>Réchauffement climatique (BG-C-3)</p>	
<p><b>BG-A-3 Impacts des activités humaines sur les cycles biogéochimiques</b></p>	
<p>Les activités humaines modifient le fonctionnement des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote.</p> <p>Les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> conduisent à une perturbation du cycle du carbone.</p> <p>Les activités humaines conduisent à une accumulation de composés azotés réactifs dans l'environnement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier l'origine et le devenir du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines.</li> <li>- Identifier le devenir des engrais azotés, agents de fertilisation et d'eutrophisation des écosystèmes.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques permet de présenter les couplages entre écosystèmes terrestres et aquatiques, elle est illustrée à partir de l'exemple des marées vertes sans entrer dans le détail des processus impliqués.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Azote, facteur limitant de la nutrition minérale des Angiospermes (SV-B-2)</p> <p>Impact des activités anthropiques sur les sols (BG-B-2)</p> <p>Réchauffement climatique et gaz à effet de serre (BG-C-3)</p>	

<p><b>BG-B Les sols (BCPST 2)</b></p>	
<p>Le sol est un système étudié en interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre, de façon à comprendre un objet structurant la biosphère. Sa présentation, en lien avec les services écosystémiques qu'il délivre, met en exergue les raisons scientifiques qui en font un patrimoine à préserver. Dans cette partie, les différentes composantes du sol sont présentées avec une approche fonctionnelle et intégrative, en explicitant le rôle des organismes dans les processus. Les exemples et les mécanismes, exclusivement en régions tempérées, sont pris sur les sols bruns et leur devenir, les sols bruns lessivés. L'étude des sols mobilise les acquis d'écologie et de sciences de la Terre et appuie les parties sur la nutrition végétale, les cycles biogéochimiques et le climat.</p>	
<p><b>Savoirs visés</b></p>	<p><b>Capacités exigibles</b></p>
<p><b>BG-B-1 Le sol : une interface vivante entre lithosphère et atmosphère</b></p>	
<p><b>BG-B-1-1 La phase solide des sols</b></p>	
<p>Le sol constitue l'interface entre l'hydrosphère et l'atmosphère, d'une part, et la lithosphère d'autre part.</p> <p>Le sol est constitué des produits de l'altération de la roche mère ainsi que de l'évolution de la litière, incluant décomposition, minéralisation de la matière organique et humification.</p> <p>Le sol comporte des organismes variés. Leur grande biodiversité, macro- et microscopique, est aussi fonctionnelle : elle participe à la décomposition et la</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire le profil d'un sol brun et ses horizons, en les reliant aux processus qui les mettent en place, par exemple à l'aide de documents photographiques ou de profils réalisés sur le terrain.</li> <li>- Expliquer les différences de dégradabilité de la matière organique (lignine, rapport C/N).</li> <li>- Quantifier la part relative des composantes minérale et organique du sol.</li> <li>- Comparer deux types d'humus (mull et moder) : structure de l'horizon organique, biodiversité, brassage,</li> </ul>

<p>minéralisation de la matière organique ainsi qu'à l'altération de la roche mère.</p> <p>D'un point de vue granulométrique, le sol comporte des argiles (aux propriétés colloïdales), des limons et des sables.</p> <p>Le sol se subdivise en horizons différant par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.</p>	<p>pH, et discuter du lien avec la production végétale et avec le turn-over de la matière organique du sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier à partir d'une clef de détermination les constituant de la biocénose du sol (micro, méso et macrofaune).</li> <li>- Construire un réseau trophique à partir d'observations et d'autres données.</li> <li>- Expliquer le rôle des biofilms dans l'altération de la roche mère.</li> <li>- Déterminer la granulométrie d'un sol et le replacer dans un triangle de textures.</li> <li>- Discuter des rôles des argiles, limons et sable : rétention de cations, rétention de l'eau, aération du sol.</li> <li>- Identifier le complexe argilo-humique et son rôle d'adsorbant ionique.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Ici, une première étude porte sur l'exemple du sol brun (ou brunisol). La terminologie des sols utilisée est simplifiée par rapport aux usages actuels des pédologues. On se limite à nommer les horizons par leur nature : organique, organo-minérale, roche mère altérée et roche mère (ou substrat) dans la description du sol.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Biotope et biocénose d'un écosystème (SV-J-2)</p> <p>Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)</p> <p>Altération des silicates et latéritisation (ST-E-1).</p> <p>Physique-chimie : solutés (4.2)</p>	
<p><b>BG-B-1-2 Les phases fluides des sols</b></p>	
<p>Outre la phase solide, un sol possède une phase liquide, qui alimente les êtres vivants du sol, et une phase gazeuse, issue de l'atmosphère et de l'activité des êtres vivants.</p> <p>La structure, la granulométrie et la vie du sol déterminent sa porosité, qui se subdivise en macro- et micro-porosité, selon la possibilité d'une rétention capillaire.</p> <p>La teneur en eau à saturation est la teneur en eau maximale du sol. La capacité au champ est la capacité de rétention au point de ressuyage. La réserve utile en eau d'un sol est la quantité d'eau que la plante peut utiliser (différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et la teneur en eau au point de flétrissement permanent).</p> <p>Le complexe d'échange, dont le complexe argilo-humique, est capable d'échanges de cations avec la solution du sol (capacité d'échange cationique, CEC).</p> <p>Le sol est un système ouvert réalisant des échanges avec l'atmosphère (exemple des gaz) et l'hydrosphère (exemple des nutriments).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter des données permettant d'expliquer la composition et l'origine de la solution du sol et de l'atmosphère du sol.</li> <li>- Expliquer que les sols sont des sources de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).</li> <li>- Mesurer la porosité et le pH d'un sol.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) avec un chromophore chargé (par exemple le bleu de méthylène et l'éosine).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Le bilan hydrique du sol est hors-programme.</i></p> <p><i>La fixation de N<sub>2</sub> est illustrée par des bactéries libres ou liées (Rhizobium).</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Symbiose fixatrice d'azote des Fabacées (SV-A-2)</p> <p>Absorption racinaire des Angiospermes (SV-B-2)</p> <p>Cycle du carbone et forçage de la précipitation des carbonates (BG-A-1)</p>	

<b>BG-B-1-3 Le sol, un ensemble dynamique</b>	
<p>Un sol se forme par effet conjoint de la végétation et de l'évolution de la roche mère.</p> <p>Les composants du sol se déplacent notamment par diffusion, gravité et par bioturbation.</p> <p>La pédogenèse résulte d'interactions croisées entre évolution du sol et succession végétale. Elle conduit à un état d'équilibre dynamique appelé pédoclimax (sol brun lessivé sous forêt caducifoliée dans les régions de France métropolitaine).</p> <p>Un sol se développe lorsque l'érosion est inférieure à la genèse par altération. Tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, d'intensité variable selon la topographie et le climat, mais la végétation peut limiter le phénomène.</p> <p>La dynamique globale d'un sol dépend aussi du climat.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer la bioturbation par la plante et les vers de terre (espèces ingénieurs).</li> <li>- Évaluer l'ordre de grandeur de durée de la pédogenèse d'un sol brun lessivé.</li> <li>- Illustrer des liens réciproques entre pédogenèse et dynamique de succession de la végétation : exemple des mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne.</li> <li>- Exploiter des données montrant qu'un sol, même climacique, peut être soumis à l'érosion naturelle.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>On se borne à un sol brun et un sol brun lessivé.</i></p> <p><i>La présentation du principe général de la pédogenèse se limite à l'évolution de l'apparence et de l'épaisseur du sol, à l'apparition d'horizons, à la brunification et au lessivage.</i></p> <p><i>Les mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne (négative pour les plantes pionnières et de succession, positive pour les plantes climaciques) sont présentés à partir d'exemples en nombre limité.</i></p> <p><i>Le pédoclimax est introduit comme un état d'équilibre dynamique dépendant du climat et donc variable au cours du temps long.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Succession écologique et relations interspécifiques (SV-J-2)</p> <p>Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité (BG-C-3-3)</p> <p>Climat et altération des roches (ST-E-1)</p> <p>Érosion et entraînement de matières (ST-E-2)</p>	
<b>BG-B-2 Les enjeux de la gestion des sols</b>	
<p>Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, parmi lesquels des services d'approvisionnement (fertilité et support de la production alimentaire) et de régulation liée au climat (stockage de carbone).</p> <p>Les pratiques agricoles ont un impact sur les sols et sur les services écosystémiques qu'ils délivrent. Par ailleurs, d'autres activités humaines conduisent à l'artificialisation des sols et à la perte des services écosystémiques rendus par les sols.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpréter des données permettant de quantifier les services écosystémiques rendus par les sols.</li> <li>- Discuter à partir de documents fournis des impacts d'une pratique agricole, le labour, sur le sol et les services écosystémiques rendus par les sols (fertilité du sol et support de la production alimentaire, impact sur la biodiversité du sol, érosion et stockage de carbone).</li> <li>- Quantifier l'évolution de la surface des sols artificialisés autour d'une région urbaine.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Les services écosystémiques choisis comme exemples sont réutilisés pour illustrer leurs perturbations par les activités humaines.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Fonctionnement des écosystèmes (SV-J-2)</p> <p>Eutrophisation des écosystèmes (BG-A-3)</p> <p>Géographie : Environnement et milieu.</p>	

## BG-C Le climat de la Terre (BCPST 1 et 2)

La compréhension du fonctionnement du système climatique nécessite l'analyse des échanges d'énergie au sein des enveloppes externes de la Terre. Cette partie permet d'appréhender l'importance des circulations atmosphérique et océanique dans la redistribution de l'énergie à la surface du globe. Elle aborde ensuite le climat et ses variations naturelles aux différentes échelles de temps. Elle traite des changements climatiques actuels, notamment l'augmentation des températures de surface, liés à l'activité humaine, en lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Elle s'appuie sur la variété des observations concordantes qui, couplées à la compréhension de la physique et de la chimie du système, permettent d'établir des scénarios probables pour l'évolution future du climat de notre planète. Les effets de ces changements climatiques sur la biodiversité sont également appréhendés.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### BG-C-1 L'atmosphère et l'océan : composition et structure verticale (BCPST 1)

L'atmosphère et l'hydrosphère forment les enveloppes fluides de la Terre. L'hydrosphère et l'atmosphère, enveloppes externes fluides, sont stratifiées. Leur structuration verticale dépend de la densité, comme pour les enveloppes solides.

- Exploiter des données révélant la stratification des enveloppes fluides.
- Expliquer l'origine biologique du dioxygène et du méthane.
- Relier le maximum thermique de la stratosphère aux propriétés d'absorption de l'ozone (O<sub>3</sub>).
- Discuter de la stabilité des couches océaniques et atmosphériques à partir d'un exemple parmi : la structuration verticale océanique, l'inversion thermique, la formation d'un nuage.

#### Précisions et limites :

*Pour l'atmosphère, on se limite à l'étude de la troposphère et de la stratosphère. Pour l'océan on se limite aux 3 couches : couche de mélange, thermocline, océan profond.*

*Le détail de l'origine biologique du méthane n'est pas attendu.*

*Le lien entre stratification et densité est simplement présenté. L'approche formelle et calculatoire est vue en programme de physique-chimie comme les aspects physiques de l'effet de serre et du fonctionnement dynamique de l'atmosphère et de l'océan.*

#### Liens :

Stratification des enveloppes solides (ST-B-1)

Physique-chimie : stratification verticale (2.4.2)

#### BG-C-2 Les circulations atmosphériques et océaniques (BCPST 1)

##### BG-C-2-1 Bilan énergétique des enveloppes fluides de la Terre et circulations

Les disparités temporelles et locales du bilan radiatif conduisent à une inégale répartition de l'énergie à la surface de la Terre. Les circulations troposphériques et océaniques assurent principalement une redistribution latitudinale de l'énergie. Les échanges d'énergie ont lieu par transferts radiatifs, conductifs et convectifs incluant les variations d'enthalpie liés aux changements d'état de l'eau.

- Exploiter les données montrant le bilan entre énergie reçue et énergie émise aux différentes latitudes.
- Identifier les parts respectives de l'océan et de l'atmosphère dans la redistribution de l'énergie à la surface de la Terre.

#### Précisions et limites :

*Il s'agit de remobiliser les acquis du lycée concernant le bilan radiatif de la Terre pour envisager la dynamique des enveloppes fluides.*

#### Liens :

Carbone et azote atmosphérique dans l'effet de serre (BG-A-1 et BG-A-2)

Physique-chimie : conversions et transferts (3.3)

##### BG-C-2-2 La circulation atmosphérique

La circulation de l'atmosphère repose sur l'existence des cellules de convection. On distingue la circulation aux latitudes tropicales et la circulation aux latitudes tempérées.

- Relier, à grande échelle, la distribution des températures de surface et des précipitations aux grands biomes.
- Présenter et exploiter un schéma général de la circulation atmosphérique.

<b>Précisions et limites :</b> <i>La circulation atmosphérique porte sur l'étude :</i> - aux latitudes tropicales : des cellules de Hadley (et leur extension) et des cellules de Walker ; - aux latitudes tempérées : des cellules de Ferrel, des anticyclones et dépressions (application de la géostrophie), des jets d'altitude. <i>La formalisation mathématique des mécanismes de la circulation océanique ou atmosphérique n'est pas attendue.</i>	
<b>Liens :</b> Convection mantellique (ST-C) Physique-chimie : bilan d'énergie pour un système thermodynamique (3.2).	
<b>BG-C-2-3 La circulation océanique</b>	
Le couplage entre l'atmosphère et l'océan se fait par des échanges de quantité de mouvement, de transferts thermiques et de quantité d'eau. La circulation de surface est étroitement couplée au régime des vents et aux gradients thermiques. La circulation générale de l'océan se caractérise par une circulation méridienne de retournement. Elle résulte principalement des variations de densité de l'eau de mer liées à sa température et à sa salinité.	- Relier les courants de surface aux vents troposphériques (grandes gyres, circulation équatoriale). - Exploiter des données montrant la dynamique de l'océan (bathymétrie, température et salinité, delta <sup>14</sup> C des masses d'eau, teneur en chlorophylle, distribution du dioxygène...). - Exploiter des données reliant la circulation océanique et la biogéochimie de l'océan.
<b>Précisions et limites :</b> <i>Le terme circulation méridienne de retournement est utilisé à la place de circulation thermohaline. La force de Coriolis n'est appréhendée que par ses effets sur la circulation. La formalisation mathématique des mécanismes de la circulation océanique ou atmosphérique n'est pas attendue.</i>	
<b>Liens :</b> Physique-chimie : conversions et transferts (3.3)	
<b>BG-C-3 Climat et variabilité climatique (BCPST 2)</b>	
<b>BG-C-3-1 Variabilité climatique à courte échelle de temps</b>	
La mousson est la conséquence des forts contrastes thermiques qui se créent entre l'océan et le continent et qui modifient le régime des vents, en lien avec la position de l'équateur météorologique. Ces grandes amplitudes de températures observées résultent essentiellement d'influences géographiques.	- Exploiter des données montrant le lien entre la circulation atmosphérique, la circulation océanique et la mousson.
<b>Précisions et limites :</b> <i>Il s'agit ici de présenter un exemple de couplage climatique océan – atmosphère de courte échelle de temps (interannuel à multidécennal). Seul l'exemple de la mousson est exigible. Les mécanismes physiques sous-jacents sont présentés mais ne sont pas démontrés.</i>	
<b>Liens :</b> Géographie : Environnements et milieux	
<b>BG-C-3-2 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps</b>	
L'étude des paléo environnements, sur la base des archives sédimentaires et fossiles, permet de reconstituer la variabilité climatique temporelle à l'échelle locale et la paléozonographie climatique à l'échelle globale. Les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques sont pilotées par des facteurs géologiques, biologiques, et physico-chimiques. Certains de ces facteurs se reconnaissent aux temps caractéristiques des signaux induits (de 10 ka à 400 ka pour les paramètres orbitaux jusqu'à plusieurs dizaines de Ma pour les processus géologiques). Les variations de concentration du CO <sub>2</sub> atmosphérique et les variations climatiques sont corrélées. Il existe des rétroactions entre les différentes enveloppes	- Reconstituer à une échelle locale un paléoenvironnement à partir de l'étude d'une carte géologique au 1/50 000. - Comparer à une échelle globale des glaciations paléozoïques (Ordovicien et Permo-Carbonifère) en identifiant les contributions d'ordre biologiques et géologiques. - Identifier l'effet des paramètres orbitaux dans les archives sédimentaires et discuter des limites des interprétations possibles. - Discuter la synergie des apports éoliens de fer dans l'océan et des paramètres orbitaux dans les entrées en glaciation. - Quantifier l'effet de la formation de chaînes de montagnes et de leur altération sur le climat à l'échelle

<p>terrestres qui déterminent l'échelle de temps de réaction du système climatique à une perturbation et son possible retour à un état stationnaire.</p>	<p>des temps géologiques (altération des silicates, mousson, variations de l'albedo).  - Montrer que l'augmentation des températures diminue la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'océan et donc diminue le pompage physique du carbone dans l'océan.  -Évaluer les effets d'une perturbation du système climatique en termes d'amplitude et de temps de retour à l'équilibre du système : cas d'un forçage naturel (volcanisme et GES) et d'un forçage anthropique.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Les processus mis en jeu doivent être connus. Les forçages mis en jeu dépendent de l'échelle de temps considérée. Les variations climatiques naturelles sur toutes les échelles de temps ainsi que le changement anthropique s'appuient sur ce qui a été vu en lycée en les complétant, notamment concernant les outils isotopiques (<math>\delta^{18}O</math> et <math>\delta^{13}C</math>).</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Métabolisme cellulaire et flux de dioxyde de carbone (SV-E)  Cycle biogéochimique du carbone, GES (BG-A-1)  Stockage du carbone dans les sols (BG-B-2)  Altération des silicates et piégeage du CO<sub>2</sub> (ST-E-1)  La sédimentation des particules et des solutés (ST-E-2)  Activité magmatique et émissions de gaz (ST-F-1)  Activités de terrain</p>	
<p><b>BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité</b></p>	
<p><b>Projections climatiques et réchauffement actuel</b></p>	
<p>Le réchauffement climatique observé est attribué à l'augmentation des GES liée à l'activité humaine et la modification de l'usage des terres.  Les projections climatiques montrent que l'amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.</p>	<p>- Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.</p>
<p><b>Quelques impacts du changement climatique sur la biodiversité</b></p>	
<p>Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité.  Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés.  Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations.  Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent.  Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.</p>	<p>- Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces.  - Exploiter des données montrant des adaptations (au changement climatique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• à l'échelle des organismes (adaptations physiologiques) ;</li> <li>• des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition) ;</li> <li>• des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On s'intéresse dans cette partie au paramètre « augmentation de température » du changement climatique, parmi de nombreux autres changements, dont une modification des régimes de précipitations et de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes.  Cette partie est l'occasion de montrer comment se construisent des savoirs scientifiques, en intégrant les incertitudes sur les données et sur les modèles. L'incertitude est un degré de connaissance incomplète, elle peut être représentée par des mesures quantitatives (probabilités) ou qualitatives (dire d'experts) ce qui est fait dans les travaux du GIEC.  Concernant les scénarios d'évolution climatique, il s'agit ici essentiellement de rappel de lycées. Les nouveaux concepts concernent la description des différents types d'incertitude.  Concernant l'évolution de la biosphère, on prendra un nombre limité d'exemples d'impacts du changement climatique.</i></p>	

**Liens :**

Effet des paramètres abiotiques sur la dynamique des populations (SV-J-1)  
Modifications du biotope et incidence sur la dynamique des écosystèmes (SV-J-2-4)  
Notion d'adaptation évolutive (SV-K-1)  
Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)  
Activités anthropiques et gestion des sols (BG-B-2)

**Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Biogéosciences »**

	<b>BCPST 1</b>	<b>BCPST 2</b>
<b>BG-A Les grands cycles biogéochimiques</b>		1 séance « cycles biogéochimiques »
<b>BG-B Les sols</b>		2 séances : <ul style="list-style-type: none"><li>• 1 séance « organisation fonctionnelle des sols »</li><li>• 1 séance « biodiversité du sol et services écosystémiques rendus par les sols »</li></ul>
<b>BG-C Le climat de la Terre</b>	1 séance « circulation océanique »	2 séances : <ul style="list-style-type: none"><li>• 1 séance « reconstitution paléoclimatique »</li><li>• 1 séance « climat et biodiversité »</li></ul>
<b>Total</b>	<b>1 séance</b>	<b>5 séances</b>

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain en BCPST 1 et BCPST 2.

<b>ST-A La carte géologique et ses utilisations (BCPST 1)</b>	
<p>La carte géologique permet une reconstitution tri-dimensionnelle des terrains, essentielle pour la construction d'une histoire géologique. Elle fournit de façon synthétique de nombreuses informations (ressources, risques, etc.). La carte géologique est à comprendre comme un modèle reflétant notre connaissance de la géologie, de son histoire et donc des processus géodynamiques sous-jacents. Elle constitue un outil fondamental de la géologie, une base pour la prise de décision au niveau des politiques publiques mais aussi un résultat scientifique à part entière résultant d'une démarche scientifique. Cette partie est l'occasion d'aborder différentes utilisations des cartes géologiques ainsi que la méthode de réalisation de coupes géologiques et de schémas structuraux. Il s'agit également de présenter les principaux types de roches dans leur cadre géologique.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités</b>
<p>Une carte géologique est une représentation de la nature, de la géométrie et de l'âge des roches à l'affleurement. Elle représente l'intersection d'un agencement à trois dimensions avec la surface topographique. Elle résulte de l'exploitation et de l'interprétation de diverses données (levés de terrain, photographies aériennes, forages, etc.). Elle représente un modèle de l'état des connaissances au moment de sa réalisation.</p> <p>Les modèles numériques de terrain (MNT) utilisés dans des systèmes d'informations géographiques (SIG) permettent de corréler des informations géologiques géoréférencées et permettent de produire et de visualiser des cartes topographiques et des cartes thématiques.</p> <p>Les cartes géologiques de la France apportent des informations complémentaires à différentes échelles. La carte de France au 1/1 000 000 permet de visualiser des grands ensembles géologiques : chaînes de montagnes, bassins sédimentaires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une coupe géologique à main levée en partant de profils topographiques fournis.</li> <li>- Exploiter les informations visibles sur une carte pour établir une histoire régionale simplifiée.</li> <li>- Réaliser un schéma structural simple sur les cartes au 1/50 000).</li> <li>- Repérer les indices d'exploitation par l'être humain (forage, mines, carrières).</li> <li>- Identifier les caractéristiques d'un bassin sédimentaire sur la carte de France au 1/1 000 000.</li> <li>- Identifier quelques roches de la lithosphère : roches magmatiques, roches sédimentaires, roches métamorphiques et péridotites, par une analyse macroscopique raisonnée et par l'étude de lames minces.</li> <li>- Exploiter des données issues de documents (cartes, données géophysiques et sédimentologiques) permettant de comprendre l'origine et l'histoire géodynamique (dont la subsidence) d'un bassin sédimentaire (Bassin parisien).</li> <li>- Réaliser une coupe globale à main levée à partir de la carte au 1/1 000 000.</li> <li>- Repérer cartographiquement des discordances.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>L'étude de la carte géologique est l'occasion de développer la capacité des élèves à reconstituer une structure en trois dimensions à partir de sa représentation en deux dimensions. Tous les objets géologiques peuvent être utilisés pour cela : couches, failles, filons, plis, plutons. L'approche de la carte de France au 1/1 000 000 en première année est limitée à une familiarisation avec ses spécificités et avec sa légende. Les ensembles structuraux visibles sur la carte de France au 1/1 000 000 sont développés en seconde année.</i></p> <p><i>Les notions de cette partie sont entièrement traitées dans le cadre des TP. La réalisation de schémas structuraux est réalisée dès la première année. L'utilisation des cartes thématiques est également réinvestie dans l'étude des grands ensembles géologiques en deuxième année.</i></p> <p><i>L'exploitation de cartes géophysiques ne donne pas lieu à des développements sur les aspects fondamentaux de la gravimétrie et du magnétisme.</i></p> <p><i>Concernant les bassins sédimentaires, on s'appuie sur le Bassin parisien comme exemple. Cependant, la connaissance de la chronologie des événements qui ont jalonné le remplissage sédimentaire du Bassin parisien n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Une première approche des roches permet :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'identifier basaltes, gabbros, granites, calcaires, grès, micaschistes, gneiss et péridotites ;</li> <li>- d'identifier quelques minéraux : olivine, feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite), amphiboles, pyroxènes, grenat, calcite.</li> </ul> <p><i>Sur les clichés de lames minces exploitables lors d'exercices, les minéraux sont légendés.</i></p>	

**Liens :**

Le phénomène sédimentaire (ST-E)  
 Les grands ensembles géologiques (ST-J)  
 Le magmatisme (ST-F)  
 Le métamorphisme (ST-G)  
 Activités de terrain

**ST-B La structure de la planète Terre (BCPST 1)**

La Terre est une planète tellurique dont l'organisation des enveloppes concentriques dépend des propriétés physico-chimiques des éléments les composant. Cette structure est mise en évidence grâce à des données de géologie historique, de géophysique et de géochimie. Il est important de relier la structure des enveloppes solides avec leur dynamique. La lithosphère joue un rôle central dans l'établissement du bilan énergétique de la Terre (« couche limite de la convection ») et il est donc nécessaire de faire le lien avec la partie ST-C portant sur la dynamique des enveloppes internes. Cette partie met l'accent sur l'analyse de multiples sources de données (géophysiques, géologiques et géochimiques) dans l'établissement d'un modèle radial de la planète Terre de premier ordre. Ce modèle sera mis en défaut par certaines observations qui requièrent l'introduction d'une dynamique dans le modèle Terre.

Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>La Terre est constituée d'enveloppes concentriques solides, liquides et gazeuses qui se distinguent par leur nature et leurs propriétés physico-chimiques. Croûtes, manteau et noyau sont définis sur la base de leur nature chimique et minéralogique ; lithosphère et asthénosphère sur la base de leurs propriétés rhéologiques et thermiques. La nature minéralogique du manteau varie avec la profondeur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer la construction d'un modèle radial de la Terre solide (modèle PREM).</li> <li>- Exploiter et relier des données géophysiques permettant d'établir des discontinuités physiques ou chimiques dans le globe.</li> <li>- Exploiter des données permettant la construction du géotherme.</li> <li>- Exploiter des données géophysiques et expérimentales montrant les transitions de phase dans le manteau.</li> </ul>

**Précisions et limites :**

*Le modèle statique PREM et ses limites sont discutés dans la partie dynamique de la lithosphère. L'histoire des travaux ayant permis d'établir cette structure n'est pas exigible, même si des documents historiques peuvent être utilisés en enseignement.*

*Pour la minéralogie du manteau, on attend seulement péridotite à plagioclase, à spinelle, à grenat, à bridgmanite. La diversité des structures silicatées sera présentée dans la suite du programme lorsqu'elle se révèle nécessaire.*

*Pour l'atmosphère, on se limite à la troposphère et la stratosphère. Pour l'hydrosphère, on se limite aux 3 couches : couche de mélange, thermocline, océan profond.*

**Liens :**

Les circulations atmosphériques et océaniques (BG-C2)  
 La carte géologique (ST-A)  
 La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)  
 Les séismes (ST-D-2)  
 Le magmatisme (ST-F)

<b>ST-C La dynamique des enveloppes internes (BCPST 1)</b>	
<p>La dynamique des enveloppes internes permet de présenter le globe terrestre comme une machine thermique libérant de l'énergie vers l'extérieur. Le bilan thermique de la Terre fait apparaître le rôle de la convection dans le transfert de l'énergie interne vers la surface. Les observations géologiques, géophysiques et géochimiques permettent de mettre en évidence les causes et les conséquences de cette dynamique. L'analyse des mouvements verticaux à différentes échelles de temps et d'espace montre l'importance des variations de densité, de température et de chimie interne. Les mécanismes conduisant à l'expansion océanique et à la dynamique de la lithosphère océanique sont à relier à l'efficacité du transfert énergétique dans le globe.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>ST-C-1 Bilan thermique et conséquences</b>	
<p>La dynamique des enveloppes terrestres correspond à la dynamique thermique du globe (transferts de chaleur interne et externe par conduction et convection).</p> <p>La convection mantellique, moteur des mouvements de plaques lithosphériques, est associée à la production de chaleur interne du globe.</p> <p>La lithosphère est définie notamment comme une couche limite à la convection.</p> <p>Les mouvements horizontaux de la lithosphère ont des conséquences tectoniques (rifts, dorsales, marges passives...).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter des données de tomographie sismique et les relier au contexte géodynamique.</li> <li>- Identifier les principales sources de chaleur interne du globe.</li> <li>- Discuter les possibilités de convection du manteau à partir de différentes données (tomographie sismique, géotherme du manteau, modèles analogiques et numériques).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Lors de la mise en évidence de la convection mantellique, le nombre de Rayleigh est présenté ; la formule n'est pas à mémoriser. L'étude de la dynamique du noyau n'est pas au programme. On signale simplement que cette dynamique est à l'origine du champ magnétique terrestre.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>            La carte géologique (ST-A)            La structure de la planète Terre : le géotherme (ST-B)            Les déformations de la lithosphère (ST-D)            Les grands ensembles géologiques (ST-J)            Physique : transferts thermiques (3.2)</p>	
<b>ST-C-2 La lithosphère en équilibre sur l'asthénosphère</b>	
<p>L'isostasie correspond à l'équilibre vertical de la lithosphère sur l'asthénosphère selon le principe d'Archimède.</p> <p>Cet équilibre dynamique peut être source de mouvements verticaux.</p> <p>La modélisation des états d'équilibre permet de proposer des interprétations des reliefs, que les données gravimétriques valident ou questionnent.</p> <p>La notion d'anomalie gravimétrique est construite à partir des anomalies à l'air libre et de Bouguer.</p> <p>L'anomalie de Bouguer témoigne de la présence d'excès ou de déficit de masse en profondeur.</p> <p>Les anomalies gravimétriques permettent de discuter des variations altitudinales inaccessibles à l'observation directe ou à travers d'autres instrumentations.</p> <p>Les variations spatiales de petite longueur d'onde du géoïde marin permettent de repérer les reliefs sous-marins.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser des calculs simples d'équilibre vertical archimédien dans des contextes géologiques (ex : chaîne de montagne, rift continental, plaine abyssale océanique...).</li> <li>- Exploiter des données géologiques diverses permettant d'estimer une vitesse de remontée isostatique et l'ordre de grandeur de la durée d'un rééquilibrage isostatique.</li> <li>- Exploiter des données gravimétriques (air libre, Bouguer) obtenues par altimétrie satellitaire.</li> <li>- Relier des anomalies du géoïde à petite longueur d'onde avec la topographie sous-marine.</li> </ul>

**Précisions et limites :**

*L'anomalie de Bouguer est définie comme l'écart entre le champ de pesanteur terrestre mesuré, corrigé de paramètres locaux, et le champ de pesanteur théorique.*

*Le géoïde est volontairement défini comme la surface équipotentielle de pesanteur passant par le niveau moyen des océans. Sa forme reflète l'hétérogénéité latérale au sein des différentes enveloppes de la Terre, mais seules les anomalies de variations à petites longueurs d'onde du géoïde sont exploitées.*

**Liens :**

Physique-Chimie (2.4)

**ST-C-3 La géodynamique de la lithosphère**

Les mouvements lithosphériques sont modélisés par le déplacement de plaques (coquilles rigides) à la surface de la Terre.

Une marge active montre des signatures géomorphologiques, géophysiques et pétrologiques.

Les dorsales sont l'expression en surface des remontées du système convectif et permettent la création de croûte océanique.

La subduction de la lithosphère océanique est liée à son évolution thermomécanique et participe à la dynamique interne au sein du système convectif.

Le volcanisme actuel ou récent s'observe dans des environnements géodynamiques variés, principalement aux frontières de plaques convergentes (zones de subduction) et divergentes (zones d'accrétion) mais aussi en domaine intraplaque.

Les anomalies magnétiques résultent de la fossilisation du champ magnétique par les basaltes lors de la mise en place de la croûte océanique.

- Exploiter des données GPS pour caractériser le mouvement des plaques à la surface de la Terre.
- Identifier les indices de structure et de fonctionnement d'une marge active.
- Relier le magmatisme de dorsale et les anomalies magnétiques.
- Démontrer les causes thermogravitaires de la subduction.
- Relier diverses données permettant de discuter de la diversité des subductions : pendage du panneau plongeant, états des contraintes (compression ou extension), vitesse, âge de la lithosphère, volcanisme, ...
- Relier les conditions d'apparition des magmas aux confrontations géotherme/solidus.
- Exploiter les cartes de fonds océaniques pour estimer les taux d'accrétion.

**Précisions et limites :**

*La construction de modèles cinématiques n'est pas au programme.*

*Cette partie ne détaille pas le magmatisme qui sera vu en partie ST-F Magmatisme ; elle met en relation le déplacement lithosphérique et décrit les conditions potentielles de fusion partielle des roches du manteau (comparaison géotherme vs. solidus, hydratation et décompression). La connaissance de la diversité des subductions n'est pas au programme. Le fonctionnement d'une chambre magmatique n'est pas détaillé en première année. Les anomalies magnétiques sont exploitées en TP.*

**Liens :**

Les séismes (ST-D-2)

Le magmatisme (ST-F)

Le métamorphisme (ST-G)

Activités de terrain

## ST-D Les déformations de la lithosphère (BCPST 1)

La lithosphère, enveloppe externe de la partie solide de la Terre, est une enveloppe qui se déforme sous l'effet de forces imposées par la dynamique interne. Cette déformation dépend de la rhéologie des matériaux qui la composent selon les conditions de pression et de température. Ces déformations sont à mettre en évidence à partir d'observations de l'échelle de l'échantillon à celle de la lithosphère (observations géophysiques). Ces observations permettent de construire un modèle physique du comportement mécanique de la lithosphère, qui permet d'expliquer la construction de la topographie et les phénomènes sismiques.

L'étude de la sismogenèse est l'occasion de détailler un mode de déformation de la lithosphère, à partir de mesures de déformations actives aujourd'hui pour, *in fine*, faire le lien avec l'appréhension d'un aléa et la compréhension d'un risque (développé dans la partie ST-I sur les risques). Les séismes, comme marqueurs actifs de la déformation cassante, constituent une donnée clef ayant nourri les réflexions aboutissant à la théorie de la tectonique des plaques. Les définitions de la lithosphère introduites en ST1-A sont complétées par les aspects rhéologiques. Cette partie est l'occasion d'expliquer l'expression de surface de la dynamique interne de la Terre.

### Savoirs visés

### Capacités exigibles

#### ST-D-1 La rhéologie de la lithosphère

Les matériaux lithosphériques se déforment sous l'effet de contraintes : la déformation est réversible ou irréversible.

La déformation finie peut se décomposer en étapes (ou incréments) de deux types comportant ou non une part de rotation. Le cisaillement est alors pur ou simple.

Les propriétés mécaniques des roches dépendent de leur minéralogie, des conditions pression-température et de la présence de fluides ainsi que de la vitesse de déformation. Ces propriétés mécaniques mènent à la définition thermomécanique de la lithosphère abordée précédemment.

Le comportement global de la lithosphère est déterminé par son enveloppe rhéologique, mais ce modèle statique est questionné par des observations de terrain ainsi que par des données géophysiques. L'hétérogénéité verticale de comportement mécanique de la lithosphère peut déterminer des niveaux de découplage.

- Distinguer déformation et contrainte.
- Construire une ellipse (2D) ou un ellipsoïde (3D) de déformations, dans le but d'établir, lorsque cela est possible, l'orientation des contraintes.
- Exploiter des courbes rhéologiques pour distinguer déformation élastique, déformation plastique, phénomène de fluage et la notion de rupture.
- Distinguer un comportement ductile et un comportement cassant (ou fragile).
- Relier les différents types de comportement à la compétence des roches et aux conditions thermodynamiques.
- Illustrer l'importance de la vitesse de déformation dans la rhéologie.
- Analyser des objets tectoniques à partir de différents supports à différentes échelles (cartes géologiques, photographies, échantillons).
- Analyser des objets tectoniques, en termes d'ellipsoïde des déformations finies et, lorsque c'est possible, faire le lien avec le régime de contraintes.
- Analyser des microstructures associées aux structures d'échelle supérieure.
- Analyser un style structural régional.
- Savoir relier observations de terrain et déformation.
- Établir un profil rhéologique de la lithosphère continentale à l'aide de la loi de Byerlee et des lois de fluage.
- Relier le profil rhéologique avec la distribution des séismes en profondeur.
- Comparer les profils rhéologiques des lithosphères continentale et océanique.
- Discuter l'allure de ces profils en fonction du gradient géothermique local.
- Discuter des limites d'application des enveloppes rhéologiques à partir d'observations.

**Précisions et limites :**

*On se limite ici à définir la fabrique (schistosité, foliation et linéation). Les mécanismes de la déformation à l'échelle cristalline tout comme les cercles et enveloppes de Mohr ne sont pas au programme. On présentera en 2D le cisaillement simple et le cisaillement pur comme les deux incréments possibles de déformation comportant chacun une direction d'étirement et de raccourcissement. On présentera la déformation finie coaxiale (respectivement non coaxiale) comme la succession (l'intégrale) d'incrément de cisaillement pur (respectivement simple). Les microstructures sont étudiées en 1ère année sans lien avec les transformations minéralogiques (vues en deuxième année). Les études pratiques liées à la déformation de la lithosphère sont intégrées aux sorties de terrain. Les limites d'application du modèle des enveloppes rhéologiques, et notamment l'importance du taux de déformation, sont discutées à la lumière de données de terrain et de données géophysiques.*

**Liens :**

La carte géologique (ST-A-1)  
La géodynamique de la lithosphère (ST-C-3)  
Le métamorphisme (ST-G)  
Activités de terrain

**ST-D-2 Les séismes : origine et conséquences**

L'étude des séismes et l'évaluation des aléas sismiques passent par la description des événements et par des mesures et des calculs (magnitude, mécanismes au foyer, déplacement par GPS...). La relaxation rapide d'énergie accumulée par les déformations élastiques, mesurables par géodésie spatiale, est responsable de la formation des séismes. La notion (historique) de cycle sismique rassemble l'accumulation de déformation élastique et le rebond sismique. Pour un séisme donné, le mécanisme au foyer permet l'analyse de la géométrie de la faille et de son mouvement. L'étude d'un ensemble de mécanismes au foyer dans une région donnée permet de caractériser et modéliser le contexte tectonique. La distribution mondiale des séismes et la variabilité des mécanismes au foyer renseigne sur la géodynamique globale et sur les frontières de plaques. Les mesures de géodésie spatiale par GPS permettent d'évaluer les déplacements instantanés, de les comparer à ceux déterminés à l'échelle des frontières de plaque (en termes de bilan de déformation) et de préciser la connaissance de l'aléa localement.

- Expliquer la notion de magnitude et les ordres de grandeurs et comparer la magnitude de moment à une intensité type MSK.
- Relier les notions de magnitude et de temps de récurrence à l'évaluation de l'aléa sismique.
- Expliquer la notion de risque : distinguer les concepts d'aléa et de risque.
- Discuter la notion de cycle sismique en la confrontant avec des données géodésiques actuelles.
- Exploiter des données de mécanismes au foyer.
- Relier ces données aux contextes géodynamiques.
- Exploiter et relier des données de géodésie spatiale (GPS) permettant la surveillance des failles actives et la quantification de l'aléa par mesure de l'accumulation de déformation élastique autour de ces failles.
- Comparer en ordre de grandeur les déplacements (temps, distance, mouvement des plaques, mesures locales).

**Précisions et limites :**

*L'étude d'un ou de quelques exemples de séisme, laissés au choix, permet de montrer la diversité des observations effectuées avant, pendant et après le séisme. Il est essentiel de décrire le séisme comme une fracture avec glissement qui se propage dans un milieu élastique. La construction stéréographique d'un mécanisme au foyer n'est pas au programme ; on se limite, sur les sismogrammes, à la compréhension de l'arrivée des ondes (compression ou distension). Concernant le modèle de rebond élastique et de cycle sismique, il s'agit de comprendre qu'il est trop « simple » : les progrès des dix dernières années montrent que la périodicité suggérée par le modèle n'est quasiment jamais observée. On exploite une carte avec des vecteurs GPS et une carte de déplacements obtenus par interférométrie radar ou par corrélation d'images, mais la connaissance des méthodes permettant leur obtention n'est pas exigible.*

**Liens :**

La structure de la planète Terre (ST-B)  
La géodynamique de la lithosphère (ST-C-3)  
Les risques géologiques (ST-I-1)

<b>ST-E Le phénomène sédimentaire (BCPST 1)</b>	
<p>Dans cette partie, l'étude des roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre, souligne le rôle fondamental de l'eau dans le phénomène sédimentaire. Depuis la phase primordiale d'altération et d'érosion de roches préexistantes, les produits formés, solubles et/ou solides, sont transportés jusqu'à leur milieu de sédimentation au sein d'un bassin sédimentaire. La diversité des processus d'altération, de transport et de sédimentation explique la diversité des sédiments qui évolueront via la diagénèse en roches sédimentaires, essentiellement sous l'effet de la compaction et de la cimentation. Le phénomène sédimentaire est intimement lié au vivant. Les archives sédimentaires donnent accès à des informations utiles à la reconstitution historique et paléoenvironnementale.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>ST-E-1 Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface</b>	
<b>ST-E-1-1 Les facteurs d'altération</b>	
<p>Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération, qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion, avec en particulier l'entraînement de produits par les eaux. La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de différents facteurs : des facteurs intrinsèques (lithologie, relief) et des facteurs externes (climat, végétation).</p> <p>Les principaux processus d'altération chimique par l'eau sont l'hydrolyse et la dissolution. L'altérabilité des silicates est due à la structure des cristaux et à la nature des ions présents dans le réseau cristallin qui interagissent avec les molécules d'eau. L'hydratation des ions est proportionnelle à leur charge ionique et inversement proportionnelle à leur rayon atomique. Cette propriété est illustrée par le diagramme de Goldschmidt.</p> <p>L'hydrolyse des silicates conduit à la formation d'argiles dont la nature est en relation avec l'intensité de l'altération, qui elle-même dépend du climat (bisiallittisation, monosiallittisation, allittisation). Les produits de l'altération sont différemment mobilisables, en particulier en fonction de leur solubilité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyser le modelé d'un paysage à partir de documents photographiques et cartographiques.</li> <li>- Identifier les principaux processus d'altération et d'érosion déterminant l'évolution d'un paysage.</li> <li>- Proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage.</li> <li>- Caractériser le phénomène d'altération à partir de données de l'échelle du paysage à celle du minéral (sur l'exemple du granite).</li> <li>- Relier la diversité des produits d'altération aux conditions d'altération (climat et végétation).</li> <li>- Utiliser le diagramme de Goldschmidt afin de distinguer les éléments lessivés et les produits insolubles.</li> <li>- Analyser l'altération des roches carbonatées en s'appuyant sur l'équilibre des carbonates et ses éléments de contrôle.</li> <li>- Interpréter la présence éventuelle d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium (latéritisation) dans les formations résiduelles (exemple des bauxites).</li> </ul>
<p><i>Précisions et limites :</i></p> <p><i>Le raisonnement est privilégié, construit sur un ou des exemples au choix qui peuvent être pris localement. Sont à connaître, quelques facteurs de surface (altitudes, relief et pentes, végétation) et quelques facteurs climatiques (température, précipitations).</i></p> <p><i>Les stades d'hydrolyse sont étudiés sur les feldspaths alcalins. On se limite à l'illite (TOT) et à la kaolinite (TO) pour mettre en évidence la bisiallittisation et la monosiallittisation, à partir de l'hydrolyse de l'orthose. La classification des argiles n'est pas au programme.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Le cycle du carbone (BG-A-1)  Les sols (BG-B)  Le climat de la Terre (BG-C)  Les ressources géologiques (ST-I-2)  Activités de terrain  Géographie : analyse d'un paysage</p>	
<b>ST-E-1-2 Érosion et entraînement de matière</b>	
<p>En surface des continents, l'érosion se traduit par des flux de matières en solution (solutés) ou en suspension (particules).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le comportement des particules détritiques en fonction de la vitesse du courant et de la granulométrie par le diagramme de Hjulström.</li> </ul>

Ce flux conduit à un tri minéralogique et chimique qui préfigure la formation de nouveaux matériaux.	
<b>Précisions et limites :</b> <i>Ce point correspond à la phase de transport des produits d'altération. On ne traite pas de l'impact des activités humaines sur les transferts de surface. L'étude des sols est développée en BCPST 2. À cette occasion, sont remobilisés les acquis sur les processus d'altération participant à la formation des sols.</i>	
<b>Liens :</b> Les sols (BG-B) Le climat de la Terre (BG-C) Activités de terrain	
<b>ST-E-2 La sédimentation des particules et des solutés</b>	
La sédimentation s'opère dans des bassins sédimentaires dont la géométrie est conditionnée par le contexte géodynamique. Dans un bassin sédimentaire, la répartition des sédiments dépend de l'espace potentiellement disponible (accommodation) entre le niveau de la mer et le fond du bassin. La variation du niveau marin absolu (eustatisme) ou du niveau de base (substitut du niveau marin en domaine continental) gère les variations d'espace disponible pour la sédimentation, en lien avec les effets de la subsidence et du flux sédimentaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter des données montrant le lien entre le contexte géodynamique et le type de bassin.</li> <li>- Exploiter des données issues de documents complémentaires (cartes, données géophysiques et sédimentologiques) permettant de comprendre l'origine et l'histoire géodynamique (subsidence) d'un bassin sédimentaire intracratonique (le Bassin parisien).</li> </ul>
<b>Précisions et limites :</b> <i>Le Bassin parisien est traité en TP de cartographie (partie ST-A). La stratigraphie séquentielle n'est pas au programme.</i>	
Les dépôts de particules en suspension (sédiments détritiques) sont liés aux conditions hydrodynamiques des milieux et se produisent dans des environnements variés. Les sédiments présentent des structures et des figures sédimentaires diverses, à différentes échelles, traduisant les régimes hydrodynamiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter une carte montrant des formations superficielles (moraines, formations fluviatiles, ...).</li> <li>- Analyser des structures (ou figures) sédimentaires à partir de données expérimentales (diagramme d'Allen) et d'observations actuelles pour en identifier l'origine et la dynamique de mise en place.</li> <li>- À partir de données cartographiques, relier la distribution de dépôts détritiques, au niveau d'un delta et d'un estuaire, et la dynamique de l'hydrosphère.</li> <li>- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : conglomérats, grès, argilites, marnes.</li> </ul>
<b>Précisions et limites :</b> <i>Dans le cas des structures sédimentaires, on se limite à l'identification des rides et au litage horizontal. Le diagramme d'Allen n'est pas à mémoriser. La structure tripartite (plaine deltaïque, front de delta, prodelta) des deltas n'est pas exigible : seuls les mécanismes à l'origine de leur dynamique (origine et dépôt des particules en fonction de l'hydrodynamisme) sont à connaître.</i>	
La sédimentation des solutés est précédée d'une bioprécipitation ou d'une précipitation chimique. La sédimentation carbonatée résulte pour l'essentiel de l'activité d'êtres vivants : organismes produisant des tests et des coquilles ou bactéries provoquant des précipitations. Elle se produit surtout en domaine marin de plateforme et caractérise aussi les environnements récifaux. La sédimentation carbonatée pélagique est le fait de micro-organismes planctoniques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés). Les dépôts ne s'observent pas au-delà d'une certaine profondeur, qui définit la profondeur de compensation des carbonates (PCC) variable d'une	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : calcaires, marnes, bauxites.</li> <li>- Analyser les caractères d'une roche carbonatée pour en déduire l'origine et les conditions de formation, en utilisant la classification de Dunham.</li> <li>- Relier le profil (transect proximal-distal) d'une plateforme carbonatée et la succession des faciès (lagon, récif, avant-récif, large) en liaison avec l'hydrodynamisme (cf. classification de Dunham).</li> <li>- Identifier l'origine et les facteurs de contrôle de la sédimentation carbonatée et siliceuse à partir de l'étude de la sédimentation pélagique (en se limitant à la lysocline et à la PCC de la calcite).</li> </ul>

<p>zone océanique à une autre et fluctuante à l'échelle des temps géologiques.</p> <p>La silice dissoute dans l'eau de mer peut être utilisée par des micro-organismes planctoniques (Radiolaires, Diatomées), ce qui alimente la sédimentation de boues siliceuses, non limitée par la profondeur et inégalement distribuée.</p> <p>La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse-anhydrite, halite, sylvite) par concentration des solutions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les principaux micro-organismes impliqués dans la production carbonatée pélagique (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés) et dans la production siliceuse pélagique (diatomées, radiolaires).</li> <li>- Relier la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels.</li> <li>- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : halite, gypse-anhydrite.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>En ce qui concerne les environnements carbonatés, on se limite à l'étude d'une plate-forme associée à un milieu récifal. Le rôle des stromatolithes en tant que bio-constructeur dans ces environnements est souligné. La nomenclature relative aux différents types de récifs est hors programme. Seule la classification de Dunham est exigible ; la classification de Folk est hors programme.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Climat et variabilité climatique (BG-C-3)  La carte géologique (ST-A)  La dynamique des enveloppes internes (ST-C)  Le phénomène sédimentaire (ST-H)  Les ressources géologiques (ST-I-2)  Les grands ensembles géologiques (ST-J)  Activités de terrain</p>	
<p><b>ST-E-3 La diagenèse</b></p>	
<p>Au cours de l'enfouissement, les sédiments sont transformés en roches sédimentaires (diagenèse). Ces transformations sont marquées par des mécanismes physiques de compaction et par des mécanismes chimiques de précipitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter des observations pétrologiques (roches et photographies de lames minces) et des données relatives aux transformations diagénétiques (cimentation).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>On se limite aux phénomènes de cimentation dans les carbonates, en montrant la différence entre sparite et micrite. La dolomitisation est hors programme.</i></p>	

<p><b>ST-F Le magmatisme (BCPST 2)</b></p>	
<p>Cette partie permet de comprendre le rôle joué par le magmatisme comme mécanisme d'évacuation de la chaleur interne de la Terre. Les magmas sont produits par fusion partielle du manteau, produisant essentiellement des liquides de composition basaltique, et, par fusion partielle de la croûte continentale, produisant essentiellement des liquides de composition granitique. Postérieurement à la formation des magmas, leur composition chimique évolue par soustraction des cristaux formés dans le magma, et par mélange avec d'autres magmas ou assimilation d'éléments solides. Les magmas se déplacent vers la surface en fonction de leurs propriétés physiques (densité, température, viscosité). Les magmas cristallisant dans la croûte forment des roches plutoniques grenues alors que ceux qui parviennent à la surface forment des édifices volcaniques, dont les caractéristiques sont liées à leur viscosité et à leur teneur en gaz dissous. La nature et la quantité de magmas formés dépendent étroitement du contexte géodynamique. Les connaissances relatives au processus magmatique sont remobilisées dans l'étude des risques et des ressources géologiques (partie ST-I).</p>	
<p><b>Savoirs visés</b></p>	<p><b>Capacités exigibles</b></p>
<p><b>ST-F-1 La mise en place des magmas</b></p>	
<p>La trace de l'activité magmatique peut être directe (roches magmatiques, volcans, fumerolles, activité sismique) ou indirectes (auréoles de contact, hydrothermalisme associé).</p> <p>Les modes de gisement des roches magmatiques sont variés : intrusions plutoniques résultant de la</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyser des paysages, des affleurements et des cartes permettant de visualiser la diversité des modes d'expression du magmatisme.</li> <li>- Identifier à l'échelle macroscopique et microscopique de manière raisonnée des roches magmatiques : basaltes, gabbros, andésites, diorites, rhyolites, granites,</li> </ul>

<p>cristallisation de magmas en profondeur et mises à l’affleurement, formations filoniennes ou formations volcaniques.</p> <p>La chronologie de mise en place des roches magmatiques peut être établie par datation relative et par datation absolue.</p> <p>Le type de volcanisme et les modes de mise en place des magmas dépendent du contexte tectonique.</p> <p>Les produits émis au niveau des volcans attestent de l’existence de différents types de dynamismes éruptifs.</p> <p>Les différents dynamismes éruptifs sont déterminés par les caractéristiques physico-chimiques des magmas émis (viscosité, teneur en gaz), ainsi que par les caractéristiques de la zone d’émission (topographie, présence d’eau phréatique, de glace...).</p> <p>La prévention des risques volcaniques se fonde sur la connaissance des éruptions passées et sur la mise en place de réseaux de surveillance.</p> <p>Les roches magmatiques s’organisent en associations temporelles et spatiales (séries magmatiques) que l’on peut identifier à partir des caractéristiques des gisements et de critères pétrographiques ; leur étude permet de reconstituer le fonctionnement des systèmes magmatiques.</p>	<p>trachytes, par l’étude de leur texture, de la minéralogie observable et de la mésostase.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier le mode de gisement d’une roche par analyse de sa texture.</li> <li>- Identifier une roche magmatique plutonique par analyse de sa composition modale et la placer dans la classification de Streckeisen.</li> <li>- Identifier une roche volcanique par sa composition minéralogique et sa constitution chimique et la placer dans un diagramme TAS.</li> <li>- Expliquer le lien entre composition chimique et composition minéralogique d’une roche magmatique.</li> <li>- Exploiter des données géophysiques, cartographiques, pétrologiques afin d’établir un modèle de fonctionnement de chambre magmatique (exemple d’une dorsale rapide).</li> <li>- Établir une chronologie relative entre des formations magmatiques et leur environnement et/ou entre des formations magmatiques entre elles.</li> <li>- Exploiter des données radiochronologiques et géochimiques pour déterminer un âge absolu.</li> <li>- Différencier un dynamisme effusif d’un dynamisme explosif par l’étude des édifices volcaniques et des produits émis.</li> <li>- Relier dynamismes éruptifs et caractéristiques physico-chimiques des magmas.</li> <li>- Identifier des risques volcaniques à partir d’études cartographiques, pétrologiques ou géophysiques. Identifier un ensemble correspondant à une série magmatique à partir de différents critères (cartes, gisements, analyses chimiques, datation etc.).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p><i>Le calcul de la composition normative d'une roche magmatique est hors programme. Les observations sont conduites à l'échelle macroscopique et à l'échelle microscopique des lames minces sous forme de photographies (LPNA, LPA). À l'échelle microscopique, les noms des minéraux sont fournis. L'objectif de l'étude pétrologique est la compréhension du système que constitue la roche, quant à sa formation, son origine et son histoire.</i></p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>Climat et variabilité climatique (BG-C-3)  La carte géologique (ST-A)  La structure de la planète Terre (ST-B)  La dynamique des enveloppes internes (ST-C)  Les risques volcaniques (ST-I-1)  La mesure du temps (ST-H)  Les grands ensembles géologiques : Les îles océaniques françaises (ST-J-2-2)  Activités de terrain</p>	
<p><b>ST-F-2 Les processus fondamentaux du magmatisme</b></p>	
<p><b>ST-F-2-1 Production des magmas primaires</b></p>	
<p>Les magmas sont des mélanges de fluides (silicates fondus, éventuellement sulfures, carbonates, gaz) et de solides (cristaux, enclaves). Ils sont formés par fusion partielle des roches crustales ou mantelliques. La composition du liquide primaire obtenu par fusion partielle dépend de la nature de la source et du taux de fusion.</p> <p>La fusion partielle des péridotites mantelliques produit des liquides primaires de composition basaltique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relier la convergence de composition des premiers liquides produits lors de la fusion d’une source (manteau ou croûte) avec les propriétés thermodynamiques (eutectiques).</li> <li>- Identifier les conditions de fusion partielle de phases solides et d’apparition d’un liquide dans deux diagrammes binaires pour la chimie basaltique (albite-anorthite et diopside- anorthite) et dans deux diagrammes ternaires : un granitique (quartz-albite-orthose) et un basaltique (olivine-grenat-pyroxène).</li> </ul>

<p>La fusion partielle de la croûte continentale (anatexie crustale) entraîne la production de liquides de composition granitique. Des données isotopiques permettent la détermination des sources de magma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montrer que la fusion partielle produit, à partir de roches de sources différentes, des liquides identiques, de composition granitique dans la croûte continentale, et basaltique dans le manteau.</li> <li>- Estimer un taux de fusion partielle dans les systèmes manteau-basaltes à partir de données géochimiques (les calculs sont réalisés à partir des concentrations en potassium).</li> <li>- Exploiter des données isotopiques (<math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math> et <math>^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}</math>) pour caractériser l'origine des magmas.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b> Le comportement des éléments chimiques dans les magmas n'est abordé que pour les éléments majeurs. Les rapports isotopiques sont présentés comme « signatures géochimiques » des mécanismes de fusion. Les rapports isotopiques initiaux <math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math> et <math>^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}</math> sont présentés comme des données intrinsèques des différents réservoirs (croûte continentale, manteau supérieur, manteau inférieur), sans expliciter l'origine des rapports isotopiques. La connaissance de la diversité des sources mantelliques n'est pas exigible.</p>	
<p><b>Liens :</b> La carte géologique (ST-A) La structure de la planète Terre (ST-B) La dynamique des enveloppes internes (ST-C) Le magmatisme (ST-G) Les risques géologiques (ST-I-1) Les grands ensembles géologiques : les îles océaniques (ST-J-2-2) Physique-chimie : descriptions microscopique et macroscopique d'un système (3.1)</p>	
<p><b>ST-F-2-2 Évolution des liquides</b></p>	
<p>Une série magmatique est définie comme un ensemble de roches mises en place dans une même région, au cours d'un intervalle de temps relativement limité et présentant entre elles des liens génétiques. Une série magmatique présente généralement un ensemble de roches, allant de termes basiques à des termes différenciés, de volumes respectifs souvent très différents et attestant d'une évolution de la composition des magmas (différenciation magmatique). La différenciation des magmas résulte de l'extraction d'un mélange de cristaux de composition différente de celle du liquide. Les autres mécanismes d'évolution des magmas sont les mélanges de magmas et l'assimilation d'éléments solides (contamination). La composition des liquides basaltiques initiaux et des roches différenciées obtenues conduit à définir trois séries magmatiques principales : les séries tholéiitique, calco-alcaline et alcaline. La série tholéiitique caractérise le magmatisme des dorsales ainsi que celui de grands épanchements en domaines intraplaques océaniques ou continentaux. La série calco-alcaline caractérise les zones de subduction et sont souvent le siège d'éruptions explosives. La série alcaline s'observe principalement en domaine intraplaque. Les séries magmatiques engendrées dans les différents contextes géodynamiques sont différentes, en termes de nature des magmas, de composition chimique, et de composition isotopique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier une série magmatique à partir de différentes sources de documents (cartes, étude de gisements, analyse chimiques, datation) et proposer des hypothèses sur l'histoire régionale de cette série.</li> <li>- Distinguer l'évolution des phases solides et liquides dans une cristallisation fractionnée en mettant en relation les observations pétrologiques (ordre de cristallisation, cristaux zonés), les données géochimiques et les diagrammes : diagrammes binaires à solution solide (albite-anorthite) ou diagramme ternaire.</li> <li>- Exploiter des observations pétrologiques et des données géochimiques pour formuler et argumenter des hypothèses sur les processus pouvant guider une différenciation magmatique.</li> <li>- Identifier la nature d'une série magmatique en utilisant un diagramme TAS et AFM.</li> <li>- Formuler des hypothèses sur le contexte géodynamique de mise en place d'ensembles magmatiques à partir de données pétrologiques et géochimiques.</li> <li>- Associer certains dynamismes éruptifs et la (les) série(s) observée(s).</li> <li>- Exploiter des données afin de déterminer la diversité des sources et la variation du taux de fusion partielle.</li> <li>- Exploiter des données afin de déterminer les deux moteurs de la différenciation magmatique (la cristallisation fractionnée et l'existence de mélanges).</li> <li>- Exploiter des documents afin de proposer une (des) hypothèse(s) sur l'histoire régionale d'une série magmatique.</li> <li>- Expliquer les processus magmatiques dans le cadre de la formation de la lithosphère océanique.</li> </ul>

**Précisions et limites :**

Un seul exemple de série magmatique est utilisé pour définir les arguments en faveur d'une évolution par cristallisation fractionnée, associant données pétrologiques et données géochimiques (nature du magma initial, ordre de cristallisation...). Leur chimie n'est présentée que dans les diagrammes d'éléments majeurs. Seules les grandes séries sont abordées.

La nomenclature des différents termes volcaniques et plutoniques des différentes séries n'est pas à mémoriser.

On utilise le terme « cristallisation fractionnée » quel que soit le mécanisme exact (cristallisation à l'équilibre ou distillation de Rayleigh).

Les mécanismes physiques pouvant expliquer l'extraction et la séparation des phases cristallisées, même s'ils sont mentionnés, ne sont ni à argumenter, ni à connaître.

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)

La géodynamique de la lithosphère (ST-C-3)

Le métamorphisme (ST-G)

Les grands ensembles géologiques : les îles océaniques (ST-J-2-2)

Activités de terrain

Physique-chimie : descriptions microscopique et macroscopique d'un système (3.1)

**ST-G Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne (BCPST 2)**

L'étude des roches métamorphiques complète la compréhension de la dynamique des enveloppes solides. Cette analyse combine une reconnaissance de l'organisation spatio-temporelle des roches (sur carte géologique et par datation), une reconnaissance minéralogique et une connaissance physico-chimique des réactions métamorphiques. Cette partie est essentielle pour mettre en évidence l'importance de l'analyse de données de terrain et de laboratoire pour la compréhension de phénomènes fondamentaux (échanges de matière et d'énergie à la surface du globe). Cette analyse est permise par l'utilisation de nombreux concepts mis en place au cours des autres parties et est réinvestie dans l'étude des grands ensembles géologiques français.

**Savoirs visés****Capacités exigibles****ST-G-1 Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température**

Une roche exposée à un changement de température et/ou de pression est le siège de transformations minéralogiques. Ces transformations sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique.

Les associations minéralogiques des roches métamorphiques sont métastables.

Les faciès métamorphiques sont des domaines de l'espace pression-température. L'association de minéraux stables dans un faciès constitue une paragenèse à l'équilibre. Ces associations minérales dépendent de la nature de la roche originelle (protolithe).

Des géobaromètres et des géothermomètres sont constitués par des réactions univariantes du métamorphisme, des minéraux index et par la distribution de certains éléments chimiques dans les phases minérales.

Dans certaines conditions, le métamorphisme peut conduire à l'anatexie crustale. Une migmatite est une roche métamorphique qui résulte d'une anatexie crustale partielle.

La lithosphère océanique, formée à l'axe des dorsales, interagit avec l'eau de mer et acquiert un faciès schistes verts.

- Analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme.
- Exploiter les données des lames minces, les minéraux étant légendés.
- Exploiter des données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations.
- Identifier à l'œil nu des roches métamorphiques : micaschistes, gneiss, métagabbros, amphibolites, écolites, migmatites, marbres.
- Situer approximativement les limites des principaux faciès métamorphiques : schistes verts, amphibolite, granulite, schiste bleu, écolite.
- Discuter de la pertinence du choix d'un géobaromètre ou d'un géothermomètre.
- Exploiter des données de thermométrie et barométrie chimiques.
- Utiliser une grille pétrogénétique fournie.
- Interpréter et exploiter des données montrant l'association métamorphisme – anatexie crustale.
- Exploiter des documents montrant les échanges chimiques avec l'eau de mer.

**Précisions et limites :**

Les roches métamorphiques étudiées en TP sont : micaschistes, gneiss, migmatites, métagabbros, élogites, marbres, amphibolites. D'autres roches peuvent être présentées (schistes, cornéennes...), mais leur reconnaissance macroscopique n'est pas exigible.

L'hydrothermalisme océanique se limite à deux exemples permettant d'illustrer le tri géochimique : l'hydratation des minéraux de la lithosphère et les échanges de Na et Mg. Les processus d'origine des fumeurs noirs et des sulfures métalliques associés sont hors programme.

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)  
La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)  
Le magmatisme (ST-F)  
Activités de terrain

**ST-G-2 La distribution spatiale des roches métamorphiques et les variations temporelles des associations minéralogiques**

La distribution spatiale des roches métamorphiques à l'échelle régionale permet d'identifier des séries métamorphiques, indicatrices d'un gradient métamorphique.

Les mêmes méthodes peuvent être transposées à plus petite échelle dans le cadre du métamorphisme de contact.

L'étude des différentes paragenèses présentes dans une roche métamorphique et leur datation permettent de reconstituer un chemin  $P, T = f(t)$ . Ce chemin fait apparaître des étapes progrades et des étapes rétrogrades, caractéristiques des conditions d'enfouissement et des conditions d'exhumation. Un chemin  $P, T = f(t)$  constitue une jauge de profondeur dans l'histoire tectonique d'une unité crustale.

La nature des séries métamorphiques et les reconstitutions de chemins  $P, T = f(t)$  sont étroitement liées à l'histoire géodynamique.

- Analyser et exploiter une carte géologique laissée au choix permettant l'étude d'une série métamorphique.
- Exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes (i.e. ressemblant à un type de roche précis) dans une série métamorphique. Déterminer un gradient métamorphique.
- Relier les principaux gradients à des contextes géodynamiques (dans le cadre des Alpes).
- Exploiter des données illustrant le cas particulier du métamorphisme de contact.
- Exploiter des données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en termes de chemin  $P, T = f(t)$  ;
- Exploiter des assemblages typomorphes et des chemins  $P, T = f(t)$  dans le cadre d'une histoire régionale.
- Utiliser l'évolution dans le temps des associations minéralogiques pour éclairer l'exemple d'une chaîne de montagne en termes géodynamiques.

**Précisions et limites :**

Cette partie est une synthèse et une généralisation qui s'appuie notamment sur l'étude des roches métamorphiques et des Alpes en travaux pratiques. L'étude pratique des transformations minérales peut être envisagée en association avec les travaux portant sur l'étude de l'édifice alpin et des massifs anciens.

La possibilité de mesures in situ (type microsonde) doit être connue mais les détails de la technique ne sont pas exigibles.

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)  
La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)  
Le magmatisme (ST-F)  
Les grands ensembles géologiques (ST-J)  
Activités de terrain

<b>ST-H La mesure du temps : outils et méthodes (BCPST 1)</b>	
<p>On ne peut comprendre l'histoire de la Terre, des paysages et des ressources qui nous entourent qu'à condition de situer les différents éléments qui composent cette histoire dans le temps. En particulier, une des spécificités des sciences de la Terre est l'appréhension du temps long. La prise en compte de cette dimension temporelle se fait par différentes méthodes complémentaires dont la synthèse intégrative correspond à l'échelle chronostratigraphique. Cette partie remobilise fortement les savoirs et les capacités développés en terminale.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>ST-H-1 L'échelle stratigraphique</b>	
<p>La définition d'une unité stratigraphique se traduit par le choix d'une référence appelée stratotype. Les crises biologiques correspondent à des repères dans l'histoire de la Terre, permettant de définir des coupures à l'échelle mondiale. Elles affectent la diversité du monde vivant à l'échelle globale et sont toujours suivies de radiations évolutives. Les causes de ces extinctions sont souvent multiples et peuvent résulter d'un couplage entre l'activité interne de la Terre et de la surface.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploiter les principes de la stratigraphie pour réaliser une datation relative de deux événements géologiques.</li> <li>- Exploiter les informations qu'apportent les fossiles pour dater (fossiles stratigraphiques) ou reconstituer un paléoenvironnement (fossiles de faciès).</li> <li>- Exploiter les données d'une crise biologique pour justifier le découpage stratigraphique.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>La connaissance des fossiles se limite à la détermination des caractéristiques principales des Trilobites, Ammonoïdés, Bivalves, Gastéropodes, Foraminifères benthiques (Nummulitidés) et planctoniques (Globotruncanidés, Globigérinidés). Aucune étude systématique détaillée n'est exigible.</i>  <i>La connaissance des différents types de stratotype est hors programme.</i>  <i>Les différentes coupures de l'échelle stratigraphique sont définies et exploitées, mais la connaissance de leur nom se limite à celle des périodes.</i></p>	
<b>ST-H-2 Datation absolue</b>	
<p>La datation absolue, fondée essentiellement sur la radiochronologie, donne accès à l'âge absolu et étalonne l'échelle stratigraphique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expliquer le principe de la datation radiochronologique à partir des méthodes : U/Pb, K/Ar et <sup>14</sup>C.</li> <li>- Justifier l'utilisation de différentes méthodes de radiochronologie en s'appuyant sur la comparaison des méthodes et de leurs domaines d'application.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>On insiste sur les mécanismes de remise à zéro par diffusion ou dissolution-précipitation, traités uniquement de façon qualitative. On se limite à la datation à partir de minéraux isolés. Les datations s'appuient sur ce qui a été vu en lycée (enseignement scientifique en première et spécialité SVT en terminale). Seuls les âges des limites d'ères du Phanérozoïque doivent être connus. Pour U/Pb, on se limite à la Concordia dans le diagramme de Wetherhill et les significations possibles de la discordance.</i></p>	
<b>ST-H-3 Synthèse stratigraphique</b>	
<p>L'échelle chronostratigraphique résulte de la mise en cohérence entre les données issues de la chronologie relative et de la chronologie absolue. On associe des âges absolus à des successions d'intervalles de temps.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer les différentes techniques de datation relative et absolue sur des exemples divers.</li> </ul>
<p><b>Liens :</b>            Climat et variabilité climatique (BG-C-3)            La carte géologique (ST-A)            Le phénomène sédimentaire (ST-E)            Le magmatisme (ST-F)            Le métamorphisme (ST-G)            Activités de terrain</p>	

<b>ST-I Les risques et les ressources géologiques (BCPST 2)</b>	
<p>Les risques naturels affectent le fonctionnement de nos sociétés (destructions, décès, ...) alors que l'exploitation des ressources naturelles participe au fonctionnement de nos sociétés. La compréhension des risques et l'utilisation des ressources reposent en premier lieu sur une évaluation et une compréhension des mécanismes physico-chimiques sous-jacents. Tous ces mécanismes sont étudiés dans d'autres parties du programme et permettent d'expliquer l'évaluation d'un aléa puis d'un risque ou l'exploration et la quantification de ressources. Il est important d'insister sur le fait que ces évaluations reposent sur notre compréhension de systèmes complexes observés par le biais de mesures souvent indirectes et associées à des incertitudes. Cette analyse globale nourrit la discussion scientifique au sujet d'un risque ou d'une ressource donnée avant de devenir un élément parmi d'autres de prise de décisions (gestion des risques, exploitation d'une ressource, etc.).</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>ST-I-1 Les risques géologiques</b>	
<p>Les manifestations de la dynamique de la Terre présentent un caractère aléatoire, variable selon le phénomène et dépendant de l'échelle temporelle (humaine, météorologique, climatique ou géologique) à laquelle on l'envisage. Ces événements sont à l'origine d'un risque lorsqu'ils se produisent sur un site impliquant l'être humain et ses activités. Les aléas sont divers : ils sont associés à des phénomènes liés à la géodynamique externe (éboulements, glissements, tempêtes, cyclones, tornades, inondations) ou à des phénomènes liés à la géodynamique interne (séismes, éruptions volcaniques, tsunamis).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer les concepts d'aléa, d'enjeu et de risque et les appliquer à l'analyse d'une situation.</li> <li>- Argumenter sur la différence entre la fréquence des aléas liés à la géodynamique interne à celle liés à la géodynamique externe (la fréquence de ces derniers augmente du fait de la plus grande quantité d'énergie accumulée dans les enveloppes externes en lien avec le réchauffement climatique).</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>La notion de risque est abordée dans un premier temps par le biais de la sismicité en BCPST 1.  L'analyse des concepts se base sur l'exemple d'un risque tellurique et d'un risque atmosphérique.  La diversité des aléas est mentionnée, mais leur connaissance exhaustive n'est pas attendue, ni dans leurs natures, ni dans leurs répartitions géographiques, ni dans les mécanismes mis en jeu.  On se limite à des exemples de risques d'origine naturelle.</i></p>	
<p><b>Liens :</b>  Climat et variabilité climatique (BG-C)  La carte géologique (ST-A)  La dynamique des enveloppes internes (ST-C)  Les séismes (ST-D-2)  Le magmatisme (ST-F)  Activités de terrain</p>	
<b>ST-I-2 Les ressources géologiques</b>	
<p>De très nombreuses ressources inégalement réparties à la surface de la Terre sont exploitées (eau, matériaux, minerais, ressources énergétiques). Cette inégale répartition résulte d'une histoire géologique locale. Cette répartition induit une adaptation de l'activité humaine aux conditions locales et à l'organisation de nombreux échanges planétaires. Les connaissances géologiques éclairent les prises de décision concernant la recherche et l'exploitation de ces ressources.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remobiliser les connaissances acquises en sciences de la Terre pour expliquer les mécanismes de formation d'une ressource.</li> <li>- Identifier des ressources géologiques lors d'une analyse cartographique ou documentaire.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Cette partie permet de réaliser une approche synthétique sur l'exploitation des ressources géologiques et est l'occasion de montrer l'importance de mobiliser des connaissances et méthodes fondamentales des sciences de la</i></p>	

*Terre pour l'exploitation raisonnée des ressources géologiques. Le nombre d'exemples est restreint et aucun détail de leur utilisation n'est à mémoriser.*

*En ce qui concerne les roches sédimentaires, on montre la variété de leur utilisation industrielle, leur intérêt en tant que roches mères d'hydrocarbures et leur rôle potentiel pour stocker le CO<sub>2</sub>. On précise le rôle des placers fluviaux et marins pour la concentration de minéraux à forte valeur ajoutée de type diamant, or, minéraux lourds variés, que l'on associe plus généralement aux roches filoniennes.*

**Liens :**

- Le climat de la Terre (BG-C)
- La carte géologique (ST-A)
- La structure de la planète Terre (ST-B)
- Le phénomène sédimentaire (ST-E)
- Le magmatisme (ST-F)
- Le métamorphisme (ST-G)
- Activités de terrain

**ST-J Les grands ensembles géologiques (BCPST 2)**

Cette partie dresse une synthèse, à l'échelle régionale, de l'étude de structures géologiques rencontrées au cours des deux années. Elle permet l'intégration de différentes données et la mise en œuvre des méthodes acquises afin de comprendre l'organisation et l'histoire des grands ensembles géologiques de France métropolitaine et des îles océaniques ultramarines. Il s'agit également de situer dans leur contexte régional l'existence de ressources géologiques.

Enfin cette synthèse permet d'appréhender la diversité des chaînes de montagne (récentes ou anciennes) et la diversité des bassins sédimentaires (bassins épicontinentaux avec l'exemple du Bassin parisien vu en BCPST 1, bassins flexuraux et rifts périalpins vus en BCPST 2).

**Savoirs visés**

**Capacités exigibles**

**ST-J-1 Une chaîne de montagnes**

L'étude sera effectuée sur les Alpes franco-italo-suissees.  
 Une chaîne de montagnes est un édifice structuré dont l'étude et la compréhension nécessitent des observations de terrain et les apports de la géophysique.  
 Elle montre des vestiges de son histoire paléogéographique ainsi que des indices d'épaississement et de raccourcissement.  
 Des complexes ophiolitiques présentent une structuration verticale qui correspond à celle d'une lithosphère océanique.  
 L'intégration des différentes informations permet de reconstituer les grandes étapes de l'histoire géodynamique de la chaîne.

- Exploiter la carte au 1/1 000 000 de la France, les cartes au 1/250 000 d'Annecy et de Gap.
- Identifier et exploiter des indices de la déformation actuelle.
- Réaliser des schémas structuraux et des coupes sur des cartes au 1/50 000 laissées au choix.
- Exploiter le profil ECORS Bresse - Jura - Alpes.
- Exploiter la carte des anomalies de Bouguer (ou carte des anomalies gravimétriques).
- Identifier et exploiter des vestiges de domaines océaniques ; des témoins de marge passive ; des témoins de subduction ; des témoins de collision : des indices de raccourcissement, de décrochement et d'épaississement.
- Exploiter la carte du métamorphisme alpin et la carte tectonique des Alpes.
- Utiliser des témoins métamorphiques pour argumenter une diversité de gradients métamorphiques dans les Alpes et le diachronisme des subductions.
- Construire, à l'aide de données, l'interprétation de cette chaîne en géométrie prismatique.
- Intégrer des informations pour reconstituer des éléments d'histoire d'une chaîne de montagne.

**Précisions et limites :**

*La connaissance chronostratigraphique des différents événements n'est pas au programme.*

*L'étude s'appuie essentiellement sur un ensemble de cartes vues en TP : la carte de France au 1/1 000 000, les cartes au 1/250 000 d'Annecy et de Gap, diverses cartes au 1/50 000 laissées au choix, la carte métamorphique des Alpes CCGM, la carte tectonique des Alpes CCGM, la carte des anomalies de Bouguer et le profil ECORS.*

*Les ophiolites alpines et leurs intérêts sont étudiés. D'autres documents peuvent être utilisés, mais leur connaissance n'est pas exigible.*

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)  
La structure de la planète Terre (ST-B)  
La dynamique des enveloppes internes (ST-C)  
La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)  
Les séismes (ST-D-2)  
Le phénomène sédimentaire (ST-E)  
Le métamorphisme (ST-G)  
La mesure du temps (ST-H)  
Les risques et ressources géologiques (ST-I)  
Activités de terrain  
Géographie : aménagement du territoire

**ST-J-2 Étude de quelques grands ensembles structuraux français**

**ST-J-2-1 Quelques grands ensembles structuraux de France métropolitaine**

Outre les Alpes, la France métropolitaine montre des grands ensembles structuraux : autres chaînes de montagnes récentes, bassins sédimentaires, massifs anciens.  
Par-delà leur unité, les bassins sédimentaires présentent des variations dans leur morphologie, leur structure profonde, leur origine et leur subsidence.  
Le Bassin parisien et le fossé rhénan sont deux bassins sédimentaires d'origine et d'histoire géodynamique différentes.  
Un massif ancien est un vestige à l'affleurement d'une histoire tectono-métamorphique passée. Les objets géologiques visibles à l'affleurement, souvent différents de ceux observés dans les chaînes récentes, permettent aussi d'accéder à l'histoire de cette chaîne.

- Identifier sur la carte au 1/1000 000 les principaux ensembles structuraux de la France métropolitaine : chaînes de montagnes, différents types de bassins (flexuraux, rifts, bassins épicontinentaux).
- Exploiter des données issues de documents complémentaires (cartes au 1/250 000 et au 1/50 000, données géophysiques et sédimentologiques...) permettant de comprendre l'origine et les grands traits de l'histoire géodynamique (subsidence) des bassins sédimentaires.
- Retrouver sur la carte au millionième les principaux massifs anciens et les relier aux grands cycles orogéniques concernés.
- Réaliser des schémas structuraux à partir de cartes à différentes échelles.
- Réaliser des coupes géologiques à main levée, le profil topographique étant fourni.
- Exploiter des données à différentes échelles pour construire une synthèse géologique locale.

**Précisions et limites :**

*Pour la France métropolitaine, l'étude des exemples sera majoritairement effectuée sur la carte de France au 1/1 000 000. Les cycles orogéniques évoqués sont ceux observables sur cette carte.*

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)  
La géodynamique de la lithosphère (ST-C-3)  
La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)  
Le phénomène sédimentaire (ST-E)  
Le magmatisme (ST-F)  
Le métamorphisme (ST-G)  
La mesure du temps (ST-H)  
Les risques et ressources géologiques (ST-I)  
Activités de terrain

**ST-J-2-2 Les îles océaniques**

Les îles océaniques sont des édifices géologiques issus d'un processus magmatique, encore souvent actif, dans un contexte géodynamique donné. Elles sont également le siège de processus géologiques d'altération, d'érosion et de sédimentation.

- Analyser un contexte géologique en croisant différentes données géophysiques, cartographiques, pétrologiques, connues ou fournies.

**Précisions et limites :**

On se limite aux îles suivantes : Guadeloupe ou Martinique et La Réunion.

Les seules connaissances exigibles sont celles établies dans les parties précédentes, y compris celles traitées en première année.

**Liens :**

La carte géologique (ST-A)  
 La dynamique des enveloppes internes (ST-C)  
 Le magmatisme (ST-F)  
 Le phénomène sédimentaire (ST-E)  
 Activités de terrain

### Synthèse des séances de travaux pratiques de la thématique « Sciences de la Terre »

	BCPST 1	BCPST 2
<b>ST-A La carte géologique et ses utilisations</b>	5 séances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 séance « carte de France au 1/1 000 000 »</li> <li>• 1 séance « roches » (en lien avec la carte de France)</li> <li>• 3 séances « coupes géologiques et schémas structuraux »</li> </ul>	
<b>ST-B La structure de la planète Terre</b>	1 séance commune aux parties ST-B et ST-C « structure et dynamique de la Terre »	
<b>ST-C La dynamique des enveloppes internes</b>		
<b>ST-D Les déformations de la lithosphère</b>	1 séance	
<b>ST-E Le phénomène sédimentaire</b>	2 séances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 séance « transferts de surface et paysages »</li> <li>• 1 séance « roches sédimentaire »</li> </ul>	
<b>ST-F Le magmatisme</b>		1 à 2 séances (dont une séance possible en lien avec les îles océaniques françaises)
<b>ST-G Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne</b>		1 séance
<b>ST-H La mesure du temps : outils et méthodes</b>	1 séance	
<b>ST-I Les risques et les ressources géologiques</b>		Pas de séance spécifique, mais traité en lien avec d'autres parties
<b>ST-J Les grands ensembles géologiques</b>		4 séances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 séances Alpes</li> <li>• 1 séance massifs anciens</li> </ul>
<b>Total</b>	<b>10 séances</b>	<b>6 à 7 séances</b>

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain en BCPST 1 et BCPST 2.



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

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

#### **Annexe 2**

#### **Programmes de physique-chimie**



# Classes préparatoires aux grandes écoles

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

## Préambule

### Objectifs de formation

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

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

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

### Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Repères pour l'enseignement

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

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

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

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

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

## Première partie

# Formation expérimentale

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

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

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

## 1 Mesures et incertitudes

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

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

## 2 Mesures et capacités expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales générales que les étudiants doivent acquérir durant les séances de travaux pratiques en première année de classe préparatoire BCPST. Le travail des capacités présentées ci-dessous et leur consolidation se poursuivent en seconde année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

## 2.1 Mesures de grandeurs physiques

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

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

## 2.2 Synthèses chimiques

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

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

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p><b>Transformation chimique</b></p> <p>Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel. Suivi de l'évolution de la transformation.</p>	<p>Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.</p> <p>Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.</p>
<p><b>Séparation et purification</b></p> <p>Séparation de deux liquides non miscibles.</p> <p>Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.</p> <p>Séparation d'un soluté du solvant.</p> <p>Séparation d'un liquide et d'un solide.</p> <p>Lavage d'un solide.</p> <p>Recristallisation d'un solide.</p> <p>Séchage d'un liquide.</p>	<p>Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.</p> <p>Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase.</p> <p>Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide. Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.</p> <p>Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.</p> <p>Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.</p> <p>Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.</p> <p>Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.</p>

### 2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

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

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

Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Interpréter l'ordre d'éluion des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Repérer une température de fusion. Mesure un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
<b>Dosages par étalonnage</b>	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
<b>Dosages par titrage</b> Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.
Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.
<b>Suivi cinétique de transformations chimiques</b> Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

### 3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Prévention des risques au laboratoire</b> Règles de sécurité au laboratoire.</p>	<p>Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.</p>
<p>Risque électrique.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.</p>
<p>Risque optique.</p>	<p>Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.</p>
<p>Risques liés à la pression et à la température.</p>	<p>Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.</p>
<p>Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.</p>	<p>Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.</p>
<p><b>Prévention de l'impact environnemental</b> Traitement et rejet des espèces chimiques.</p>	<p>Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.</p>

## Deuxième partie

# Contenus thématiques

L'organisation des semestres est la suivante.

### Premier semestre

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

### Second semestre

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

## Premier semestre

### Thème E – énergie : conversions et transferts

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

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

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

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

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

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

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

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

## Thème S – ondes et signaux

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

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

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

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

## S.2 Signaux électriques en régime stationnaire

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

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

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

## Thème C – constitution et transformations de la matière

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Second semestre

### Thème M – mouvements et interactions

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

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

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

#### M.2 Lois de Newton

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

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

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

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

### M.2.2 Lois de Newton

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

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

## Thème C – constitution et transformations de la matière

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### C.4.3 Catalyse, catalyseurs

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

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

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

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

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

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

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

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour expliquer le choix d'un mécanisme réactionnel en synthèse organique;
- acquérir des connaissances et compétences autour des interconversions entre groupes caractéristiques et des modifications de chaînes carbonées;
- analyser des problèmes de complexité croissante;
- identifier, dans une situation complexe, la partie utile au raisonnement;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Thème S – ondes et signaux

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

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

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

## Thème E – énergie : conversions et transferts

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

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

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

## E.4 Statique des fluides

La partie « E.4 Statique des fluides » s'organise en deux sous-parties. L'établissement de la relation fondamentale de la statique des fluides donne l'occasion de mettre en œuvre un raisonnement à l'échelle locale de la particule de fluide. Il convient d'insister sur le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage. La notion de gradient d'un champ scalaire est hors programme.

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

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

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

## Thème T – phénomènes de transport

### T.1 Transport de matière diffusif

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

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>Modèle phénoménologique de transport de matière</b> Flux convectif et flux diffusif de particules.</p>	Distinguer un transport de matière diffusif d'un transport convectif.
<p>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.</p>	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.
<p>Coefficient de diffusion.</p>	Citer l'ordre de grandeur du coefficient de diffusion dans un gaz ou d'une espèce dissoute en solution aqueuse dans les conditions usuelles.
<p>Loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusion.</p>	Exploiter la loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusion.
<p>Bilan de particules en régime stationnaire ou quasi-stationnaire.</p>	<p>Établir un bilan de particules, éventuellement en présence de sources internes.</p> <p>Exploiter la conservation du flux de particules en régime stationnaire et en l'absence de sources internes.</p>

## Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

### 1) Au laboratoire de physique

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

### 2) Au laboratoire de chimie

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

## Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de l'année de BCPST1. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin d'année. Il est complété dans le programme de seconde année.

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

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>Équations algébriques</b>	
Systèmes linéaires de $n$ équations à $p$ inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$ .

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

<b>Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$ , relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$ , parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus; utiliser un formulaire dans les autres cas.

### Annexe 3 : outils numériques

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

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

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



# Classes préparatoires aux grandes écoles

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

## Préambule

### Objectifs de formation

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

L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur. Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales qui développent la curiosité, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est au cœur de son enseignement, que ce soit en cours ou lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales habituent les étudiants à se confronter au réel, comme ils auront à le faire dans l'exercice de leur métier.

De même, l'introduction de capacités numériques dans le programme prend en compte la place nouvelle des sciences numériques dans la formation des scientifiques notamment dans le domaine de la simulation. La démarche de modélisation occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et celui des modèles et des théories. Le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle exige bien souvent une utilisation maîtrisée des mathématiques dont Galilée, fondateur de la physique expérimentale, soulignait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde. De façon complémentaire, les sciences numériques offrent aujourd'hui aux étudiants la possibilité d'effectuer une modélisation avancée du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires.

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

### Organisation du programme

Le programme est globalement organisé en deux parties.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Repères pour l'enseignement

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

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

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

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

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

## Première partie

# Formation expérimentale

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

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

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

## 1 Mesures et incertitudes

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

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

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

## 2 Mesures et capacités expérimentales

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

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret. À ce titre, elle vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans la colonne « Capacités exigibles » de la partie « **Contenus thématiques** » – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

### 2.1 Mesures de grandeurs physiques

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

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

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

## 2.2 Synthèses chimiques

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

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Transformation chimique</b>	Choisir la verrerie adaptée à la transformation réalisée et aux conditions opératoires mises en œuvre.
Transformations à chaud, à froid, à température ambiante. Contrôle et régulation de la température du milieu réactionnel. Suivi de l'évolution de la transformation.	Réaliser le ou les montages appropriés et en expliquer le principe et l'intérêt. Choisir ou justifier l'ordre d'introduction des réactifs. Réaliser et réguler une addition au goutte à goutte. Utiliser le moyen de chauffage ou de refroidissement adéquat. Suivre et contrôler l'évolution de la température dans le réacteur. Choisir un moyen approprié pour réguler une éventuelle ébullition. Utiliser un réfrigérant à reflux, contrôler et réguler le reflux. Mettre en œuvre des méthodes permettant de suivre qualitativement ou quantitativement l'avancement de la transformation.
<b>Séparation et purification</b>	Choisir ou justifier un protocole de séparation ou de purification d'une espèce chimique, sur la base de données fournies ou issues d'observations et/ou de mesures.
Séparation de deux liquides non miscibles	Réaliser une extraction liquide-liquide. Identifier la nature des phases dans une ampoule à décanter. Distinguer extraction et lavage d'une phase. Utiliser un montage de distillation hétéroazéotropique.
Séparation de deux espèces chimiques dissoutes dans une phase liquide.	Élaborer et mettre en œuvre un protocole de séparation de deux espèces dissoutes dans une phase liquide.
Séparation d'un soluté du solvant.	Expliquer l'intérêt de l'évaporateur rotatif.
Séparation d'un liquide et d'un solide.	Réaliser et mettre en œuvre une filtration simple, une filtration sous pression réduite. Choisir et justifier la méthode de filtration adaptée au système étudié.

Lavage d'un solide.	Réaliser et justifier les différentes étapes du lavage d'un solide : ajout du solvant de lavage, trituration, essorage.
Recristallisation d'un solide.	Expliquer et mettre en œuvre la technique de recristallisation. Justifier à l'aide de données pertinentes et/ou par l'observation, le choix d'un solvant de recristallisation et la quantité mise en œuvre.
Séchage d'un liquide.	Utiliser un desséchant solide et estimer correctement, par l'observation, la quantité à utiliser.

### 2.3 Analyses qualitatives et quantitatives

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

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<b>Caractérisation d'une espèce chimique et contrôle de sa pureté</b>	Proposer ou mettre en œuvre, à partir d'informations fournies, des tests qualitatifs préalables à l'élaboration d'un protocole.
Chromatographies sur couche mince.	Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour la caractérisation d'une espèce chimique et le suivi d'une transformation. Interpréter l'ordre d'éluion des différentes espèces chimiques en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et les caractéristiques de la phase stationnaire et de l'éluant.
Détermination expérimentale de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique.	Extraire d'une banque de données des informations sur les propriétés physiques des espèces chimiques. Repérer une température de fusion. Mesure un indice de réfraction. Mesurer un pouvoir rotatoire. Mesurer une absorbance. Déterminer un coefficient d'absorption molaire en spectroscopie UV-visible. Comparer les données tabulées aux valeurs mesurées et interpréter d'éventuels écarts. Comparer les caractéristiques d'une espèce chimique synthétisée avec celles de l'espèce chimique commerciale. À partir d'une mesure appropriée, déterminer le rendement d'une synthèse, d'une méthode de séparation.
<b>Dosages par étalonnage</b>	Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques de l'espèce chimique ou en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage. Déterminer une concentration ou une quantité de matière par spectrophotométrie UV-visible.
<b>Dosages par titrage</b> Titrages directs, indirects. Équivalence. Titrages simples, successifs, simultanés. Méthodes expérimentales de suivi d'un titrage : pH-métrie, conductimétrie, potentiométrie à intensité nulle, indicateurs colorés de fin de titrage.	Identifier et exploiter la réaction support du titrage (repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). Proposer ou justifier le protocole d'un titrage à l'aide de données fournies ou à rechercher. Mettre en œuvre un protocole expérimental correspondant à un titrage direct ou indirect. Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage dans le cas d'un titrage acido-basique.

Méthodes d'exploitation des courbes expérimentales.	Exploiter une courbe de titrage pour déterminer une valeur expérimentale d'une constante thermodynamique d'équilibre. Utiliser un logiciel de simulation pour déterminer des courbes de distribution et confronter la courbe de titrage simulée à la courbe expérimentale.
<b>Suivi cinétique de transformations chimiques</b> Suivi en continu de l'évolution temporelle d'une grandeur physique. Limitation de l'évolution temporelle (trempe) d'un système par dilution, transformation chimique ou refroidissement. Régulation de température.	Choisir une méthode de suivi prenant en compte la facilité de mise en œuvre, les propriétés des espèces chimiques étudiées, la durée de la transformation estimée ou fournie. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Proposer et mettre en œuvre des conditions expérimentales permettant la simplification de la loi de vitesse. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

### 3 Prévention du risque au laboratoire

L'apprentissage et le respect des règles de sécurité dans tous les domaines recensés ci-après permettent aux étudiants de prévenir et de minimiser les risques lorsqu'ils évoluent au laboratoire de physique ou de chimie. Il importe en particulier que les étudiants prennent conscience du risque lié à la manipulation, au stockage et au rejet des espèces chimiques. Futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>Prévention des risques au laboratoire</b> Règles de sécurité au laboratoire.	Adopter une attitude responsable et adaptée au travail en laboratoire. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
Risque électrique.	Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation d'appareils électriques.
Risque optique.	Utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
Risques liés à la pression et à la température.	Adopter une attitude responsable lors de manipulations de corps chauds ou de dispositifs engageant des hautes ou des basses pressions.
Risque chimique. Classes et catégories de danger. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Mentions de danger (H), conseils de prudence (P). Fiches de sécurité.	Relever les indications sur le risque associé au prélèvement, au mélange et au stockage des produits chimiques et adopter une attitude responsable lors de leur utilisation.
<b>Prévention de l'impact environnemental</b> Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

## Deuxième partie

# Contenus thématiques

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

## Thème E – énergie : conversions et transferts

### E.5 Second principe de la thermodynamique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Thème C – constitution et transformations de la matière

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- interpréter les transformations chimiques étudiées dans une synthèse à partir de la réactivité des espèces chimiques organiques mises en jeu, réactivité déduite de la structure et des propriétés des entités chimiques qui les composent;
- pratiquer un raisonnement qualitatif argumenté pour choisir un mécanisme réactionnel en synthèse organique;
- analyser des problèmes de complexité croissante;
- identifier dans une situation complexe la partie utile au raisonnement;
- proposer une stratégie d'adaptation ou de contournement pour résoudre un problème.

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

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

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

### C.8.2 Activation de la réactivité

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

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

#### Activation de l'aptitude nucléofuge

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

#### Activation du caractère électrophile

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

#### Activation du caractère nucléophile

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

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

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

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

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

## Thème M – mouvements et interactions

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

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

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

## M.4 Oscillateurs mécaniques

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

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

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

## M.5 Phénomènes de tension superficielle

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

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

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

## M.6 Fluides en écoulement

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

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

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

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

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

## M.6.2 Dynamique des fluides

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

## Thème S – ondes et signaux

### S.4 Filtrage linéaire d'un signal

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

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

## S.5 Interaction lumière-matière

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

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

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

## Thème T – phénomènes de transport

### T.2 Conduction thermique

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

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

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

## Annexe 1 : matériel

La liste ci-dessous regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit cependant obligatoirement s'accompagner d'une présentation guidée suffisamment détaillée.

### 1) Au laboratoire de physique

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

### 2) Au laboratoire de chimie

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

## Annexe 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie. La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles. Le tableau ci-dessous recense non seulement les outils mathématiques et les capacités exigibles du programme de BCPST1, dont l'acquisition est consolidée en seconde année, mais aussi des capacités supplémentaires introduites en classe de seconde année BCPST2.

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

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>Équations algébriques</b>	
Systèmes linéaires de $n$ équations à $p$ inconnues.	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression analytique des solutions dans le seul cas où $n = p = 2$ .

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

Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Utiliser leur effet sur l'orientation de l'espace.
Courbes planes.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle.
Longueurs, aires et volumes usuels.	Citer les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
<b>Trigonométrie</b>	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$ , relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(x \pm \pi)$ et $\cos(x \pm \pi/2)$ , parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus; utiliser un formulaire dans les autres cas.
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.

### Annexe 3 : outils numériques

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

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

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

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



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

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

#### **Annexe 3**

#### **Programmes de mathématiques**

**1<sup>ère</sup> et 2<sup>nde</sup> années**



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Programme de mathématiques de la classe de BCPST 1<sup>ère</sup> année**

# Programme de mathématiques pour la classe BCPST1

## I – Objectifs de formation

### La place des mathématiques dans la formation scientifique en BCPST

L'objectif de l'enseignement des mathématiques en BCPST est double.

D'une part, il contribue à l'approfondissement de la culture scientifique générale en donnant aux étudiants un accès à quelques domaines fondamentaux (algèbre linéaire, analyse, probabilités). La pratique du raisonnement mathématique concourt ici comme ailleurs à la formation de l'esprit d'un futur scientifique; la rigueur du raisonnement, l'esprit critique, le contrôle et l'analyse des hypothèses, le sens de l'observation et celui de la déduction trouvent en mathématiques un champ d'action où ils seront cultivés de manière spécifique.

D'autre part, il contribue à fournir des représentations et un langage dont les autres disciplines scientifiques étudiées dans ces classes et au-delà sont demandeuses ou utilisatrices. De là l'importance d'une cohérence et d'une coordination aussi bonnes que possible entre les diverses disciplines : il importe d'éviter les redondances tout en soulignant les points communs, de limiter les divergences ou ambiguïtés dues à la diversité des points de vue possibles sur un même objet tout en enrichissant l'enseignement par cette même diversité.

L'objectif n'est pas de former des professionnels des mathématiques, mais des personnes capables d'utiliser des outils mathématiques dans diverses situations, et éventuellement capables de dialoguer avec des mathématiciens dans le cadre de leur futur métier.

Les travaux dirigés sont le moment privilégié de la mise en œuvre, et de la prise en main par les élèves des techniques classiques et bien délimitées inscrites dans le corps du programme. Cette maîtrise s'acquiert notamment grâce à des exercices variés. Le temps des travaux dirigés se prête également à l'expérimentation numérique, à la découverte et à la pratique des algorithmes, en lien avec l'enseignement d'informatique.

La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné, doit contribuer de façon efficace et cohérente à la qualité de ces interactions, notamment dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE). Il importe aussi que le contenu culturel et historique des mathématiques ne soit pas sacrifié au profit de la seule technicité. En particulier, il pourra s'avérer pertinent d'analyser l'interaction entre un problème spécifique et la construction, pour le résoudre, d'outils conceptuels qui, pris ensuite par les mathématiciens comme objets d'étude, ont pu ultérieurement servir au traitement d'autres classes de problèmes.

### Le développement des compétences

L'enseignement des mathématiques en filière BCPST vise le développement de compétences utiles aux scientifiques, qu'ils soient ingénieurs, chercheurs ou enseignants, pour identifier les situations auxquelles ils sont confrontés, dégager les meilleures stratégies pour les résoudre, prendre avec un recul suffisant des décisions dans un contexte souvent complexe.

L'intégration des compétences à la formation des étudiants leur permet de gérer leurs apprentissages de manière responsable en repérant points forts et points faibles. Ces compétences prennent tout leur sens dans le cadre de la résolution de problèmes, de la modélisation ou formalisation jusqu'à la présentation des résultats en passant par la démarche de résolution proprement dite.

De manière spécifique, on peut distinguer les compétences suivantes :

<b>S'engager dans une recherche et mettre en œuvre des stratégies</b>	Il s'agit d'analyser un problème, de se poser des questions, d'expérimenter sur des exemples, de formuler des conjectures.
<b>Modéliser</b>	C'est traduire un phénomène en langage mathématique, élaborer des concepts et des outils lors d'une phase d'abstraction ou de conceptualisation.
<b>Représenter</b>	Il s'agit de choisir le registre (numérique, algébrique, géométrique) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, d'être capable de passer d'un registre à un autre, d'un mode de représentation (souvent visuelle : courbes, graphes, arborescences, tableaux) à un autre.
<b>Raisonner et argumenter</b>	Cela consiste à effectuer des inférences (inductives et déductives), à conduire une démonstration, à confirmer ou infirmer une conjecture, et enfin à évaluer la pertinence d'un concept au regard du problème posé.
<b>Calculer, manipuler des symboles et maîtriser le formalisme mathématique</b>	C'est effectuer un calcul à la main ou à l'aide d'ordinateur, organiser les différentes étapes d'un calcul complexe, choisir des transformations et effectuer des simplifications, contrôler les résultats, mettre en œuvre des algorithmes, manipuler et exploiter des expressions symboliques, comprendre et utiliser le langage mathématique.
<b>Communiquer à l'écrit et à l'oral</b>	Il s'agit de comprendre les énoncés mathématiques écrits par d'autres, d'opérer la conversion entre le langage naturel et le langage symbolique formel, de rédiger une solution rigoureuse, de présenter et de défendre une production mathématique pour convaincre un interlocuteur ou un auditoire.

## II – Programme de première année

### 1 – Préambule

Le programme de la filière BCPST se situe dans la continuité du programme de la spécialité mathématiques de Première et de l'option mathématiques complémentaires de Terminale.

Les développements formels ou trop théoriques doivent être évités. Une place importante doit être faite aux applications, exercices, problèmes. Quand cela est possible, on soulignera les liens des mathématiques avec les enseignements de physique, de chimie, de biologie, de sciences de la Terre et d'informatique, en évitant les situations artificielles ainsi que les exercices de pure virtuosité technique. Quelques unes de ces interactions sont parfois signalées dans le texte par le symbole  $\Rightarrow$ , mais ce repérage, qui n'est qu'**indicatif**, n'est **ni exhaustif ni impératif**. Ces liens peuvent alors faire l'objet d'une remarque, d'un développement, ou de la rédaction/projection/exécution d'un script au fil du cours.

Les résultats mentionnés dans le programme seront admis ou démontrés selon les choix didactiques faits par le professeur; pour certains résultats, marqués comme « admis », la présentation d'une démonstration en classe est déconseillée.

Il est important de mettre en valeur une cohérence entre les différentes parties du programme, tant au niveau du cours que des thèmes des travaux proposés aux étudiants. À titre d'exemples, la géométrie apparaît à la fois comme un terrain propice à l'introduction de l'algèbre linéaire, mais aussi comme un champ d'utilisation des concepts développés dans ce domaine du programme; les probabilités permettent d'illustrer certains résultats d'analyse et justifient l'introduction du vocabulaire ensembliste.

La présentation de l'**algèbre linéaire** est faite par le biais du calcul : systèmes d'équations linéaires, calcul matriciel. Seule la présentation de l'espace vectoriel  $\mathbf{K}^n$  où  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$ , parfois  $\mathbf{C}$ , est demandée. L'espace vectoriel, comme objet général, n'est étudié qu'en seconde année. Ce choix a pour ambition de donner aux étudiants une connaissance et une habitude « pratique » du calcul multidimensionnel qui confère à l'introduction de la notion abstraite d'espace vectoriel un arrière-plan concret. En préparation de la seconde année, diverses situations permettent d'observer la structure d'espace vectoriel (fonctions, polynômes, suites) .

Dans la partie du programme consacrée à l'**analyse**, le but est de mettre en place les méthodes courantes de travail sur les suites et les fonctions. L'analyse est un outil pour les probabilités et pour les autres sciences et permet de développer la rigueur. On s'attache principalement à développer l'aspect opératoire, et donc à n'insister ni sur les questions les plus fines ou spécialisées ni sur les exemples « pathologiques ». On évite les situations conduisant à une trop grande technicité calculatoire.

La partie relative aux **probabilités** vise à consolider et à développer la formation des étudiants au raisonnement probabiliste, initiée dès le cycle 4. Dans le domaine des probabilités, l'accent est mis sur le langage de la théorie des ensembles, les techniques élémentaires de dénombrement, et sur les espaces probabilisés finis. Tout ce qui concerne les variables aléatoires dont l'ensemble des valeurs est infini est traité en seconde année. Les diverses notions seront illustrées par des exemples concrets ou issus des diverses sciences.

Le programme encourage le recours à la **démarche algorithmique** et à l'informatique; le maniement de ces concepts fait partie intégrante de la formation.

Le programme est organisé en deux grandes parties de volume sensiblement équivalent, au sein de chaque semestre; aucun ordre particulier n'est imposé.

## 2 – Programme du premier semestre

### Outils 1 – Logique, ensembles et raisonnement

Les notions présentées ci-dessous, introduites dès la classe de Seconde, sont reprises comme outils pour l'algorithmique et les probabilités et doivent faire l'objet d'un développement très modeste sans abstraction excessive. Les exemples illustrant ces notions seront une première occasion d'introduire des situations

probabilistes.

Ces notions ne pourront constituer le thème principal d'aucune question d'écrit ou d'oral.

Contenus	Commentaires
<b>a) Logique élémentaire</b> Assertion, négation, « et », « ou », implication, équivalence. Négation d'un « et » et d'un « ou ». Distributivité du « ou » sur le « et » et du « et » sur le « ou ».	Le principe de contraposition est rappelé. $\Leftrightarrow$ Connecteurs logiques, instruction conditionnelle.
<b>b) Vocabulaire des ensembles</b> Ensemble, élément, appartenance. Sous-ensemble (ou partie), inclusion. Réunion. Intersection. Complémentaire. Complémentaire d'une union et d'une intersection, distributivité de $\cup$ sur $\cap$ et de $\cap$ sur $\cup$ .  Couple, $p$ -uplet. Produit cartésien.  Quantificateurs universel et existentiel. Négation d'une assertion quantifiée.	On se limite aux unions et intersections finies.  Le complémentaire d'une partie $A$ est noté $\overline{A}$ .  Un élément de $E^p$ est aussi appelé une $p$ -liste d'éléments de $E$ .  Ces éléments, présentés dans les classes antérieures, sont repris afin de viser une expression mathématique précise. L'usage des quantificateurs hors des énoncés mathématiques est à proscrire.
<b>c) Raisonnement par récurrence</b> Raisonnement par récurrence.	Lorsqu'un raisonnement par récurrence nécessite une hypothèse dite « forte », la formulation de cette hypothèse devra être proposée.

## Outils 2 – Nombres réels

L'objectif de ce chapitre est de consolider et de compléter les acquis des classes antérieures afin que ces outils soient familiers aux étudiants.

Les ensembles  $\mathbf{N}$ ,  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{Q}$  et  $\mathbf{R}$  sont supposés connus.

Contenus	Commentaires
Intervalles.	On se limite à une simple description des différents types d'intervalles.
Valeur absolue.	Interprétation de la valeur absolue en termes de distance.
Partie entière.	On adopte la notation internationale $[\cdot]$ pour la partie entière afin de ne pas la confondre avec l'espérance.
Exposants, racine carrée, racine cubique.	On se limite, à ce stade, aux puissances du type $x^n$ , $x \in \mathbf{R}^*$ , $n \in \mathbf{Z}$ . On attend une maîtrise des formules $(xy)^n = x^n y^n$ , $x^{n+m} = x^n x^m$ , $(x^n)^m = x^{nm}$ , $\sqrt{x^2} =  x $ , $\sqrt{xy} = \sqrt{x}\sqrt{y}$ . La notation $a^b$ avec $a \in \mathbf{R}_+^*$ et $b \in \mathbf{R}$ sera introduite dans le chapitre Analyse 2.
Identités remarquables.	Les attendus se limitent aux formules suivantes : $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$
Manipulation des inégalités.	Il s'agit d'une simple reprise des règles de calcul algébrique sur les inégalités.
Résolutions d'équations et d'inéquations simples.	Il s'agit d'une reprise des types d'équations et inéquations abordées dans les classes antérieures.

Contenus (suite)	Commentaires
Majorant, minorant, plus grand, plus petit élément d'une partie non vide de $\mathbf{R}$ . Borne supérieure, borne inférieure.	On admet l'existence de la borne supérieure d'une partie majorée non vide. La recherche de bornes supérieures ou inférieures à partir de la définition sera étudiée sur quelques exemples simples dans le seul but d'illustrer la notion.

### Outils 3 – Trigonométrie

Contenus	Commentaires
Définition de $\cos(\theta)$ , $\sin(\theta)$ et $\tan(\theta)$ . Périodicité et symétries.  Formules de trigonométrie : Formules découlant des symétries de $\cos$ , $\sin$ et $\tan$ . $\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta) = 1$ . $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) \mp \sin(\alpha)\sin(\beta)$ $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin(\alpha)\cos(\beta) \pm \cos(\alpha)\sin(\beta)$ $\cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)$ $\quad = 2\cos^2(\theta) - 1 = 1 - 2\sin^2(\theta)$ $\sin(2\theta) = 2\sin(\theta)\cos(\theta)$  Résolution d'équations trigonométriques simples : $\cos(x) = c$ , $\sin(x) = s$ et $\tan(x) = t$ . Notations arccos, arcsin, arctan.  Transformation de $a\cos(\theta) + b\sin(\theta)$ en $r\cos(\theta + \varphi)$ . Résolution de $a\cos(\varphi) + b\sin(\varphi) = c$ .	On fait le lien avec les symétries agissant sur le cercle trigonométrique.  Les autres formules de trigonométrie ne sont pas des attendus du programme.  On introduit les notations arccos, arcsin et arctan en donnant les définitions correspondantes en termes de solutions d'équations dans certains intervalles et en admettant l'existence et l'unicité de ces solutions. La fonction arctangente sera construite dans Analyse 6. La construction des fonctions arccosinus et arcsininus n'est pas un attendu du programme. La méthode (analytique, géométrique voire, ultérieurement, complexe) n'est pas imposée. $\Leftrightarrow$ On fait le lien avec diverses situations rencontrées en sciences physiques.

### Outils 4 – Nombres complexes

Ce chapitre est entièrement nouveau pour la majorité des étudiants.

L'ensemble des nombres complexes est introduit pour munir le plan d'opérations compatibles avec celles déjà pratiquées sur la droite réelle. Cela permet de trouver, sans exhaustivité, des solutions à des équations algébriques. Ces équations seront essentiellement à coefficients réels, de petit degré et utiles par exemple pour alléger l'étude des suites réelles récurrentes linéaires à coefficients constants et des équations différentielles linéaires à coefficients constants.

Contenus	Commentaires
<b>a) Écriture algébrique des nombres complexes</b> Nombres complexes. Écriture algébrique. Parties réelle et imaginaire. Propriétés élémentaires de $\text{Re}$ et $\text{Im}$ .  Représentation géométrique d'un nombre complexe. Affixe d'un point, d'un vecteur. Interprétation géométrique de la somme de deux complexes.	L'utilisation des nombres complexes pour résoudre des problèmes de géométrie n'est pas un objectif du programme.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Conjugué d'un nombre complexe. Interprétation géométrique. Propriétés de la conjugaison.</p> <p>Module d'un nombre complexe. Interprétation géométrique.</p> <p>Propriétés du module : multiplicativité, inégalité triangulaire.</p>	<p>On fait ressortir l'efficacité du formalisme de la conjugaison (par exemple pour montrer qu'un nombre complexe est réel ou imaginaire pur).</p> <p>Suivant les contextes, on choisit la formulation adéquate : <math> z  = \sqrt{z\bar{z}}</math> ou <math> a + ib  = \sqrt{a^2 + b^2}</math>.</p>
<p><b>b) Formes trigonométriques et exponentielles des nombres complexes</b></p> <p>Notation <math>e^{i\theta}</math>. Propriétés <math> e^{i\theta}  = 1</math>, <math>e^{i(\alpha+\beta)} = e^{i\alpha} \times e^{i\beta}</math>, <math>\overline{e^{i\theta}} = e^{-i\theta}</math>, <math>(e^{i\theta})^n = e^{in\theta}</math>, formules d'Euler.</p> <p>Arguments d'un nombre complexe non nul.</p> <p>Écriture exponentielle d'un nombre complexe non nul.</p> <p>Linéarisation de <math>\cos^p(x) \sin^q(x)</math>.</p>	<p>On met en évidence quelques choix usuels d'intervalles permettant de définir l'argument.</p> <p>À chaque fois que le recours à la formule d'Euler sera nécessaire pour linéariser ou développer des formules, l'énoncé devra l'indiquer.</p>
<p><b>c) Application aux équations du second degré.</b></p> <p>Résolution des équations du second degré à coefficients réels, somme et produit des solutions.</p> <p>Résolution de l'équation <math>x^2 = a</math> avec <math>a \in \mathbb{C}</math>.</p>	<p>En dehors de cette équation, qui doit pouvoir être traitée algébriquement ou en la retranscrivant trigonométriquement, la résolution des équations du second degré plus générales à coefficients complexes non réels n'est pas un attendu du programme. La recherche des racines <math>n</math>-ièmes de l'unité ou d'un nombre complexe quelconque dans le cas <math>n \geq 3</math> n'est pas non plus un attendu du programme.</p>

## Outils 5 – Méthodes de calcul

L'objectif de ce chapitre est de mettre en place quelques principes et exemples de maniement des symboles  $\Sigma$  et  $\Pi$ , dont les usages sont constants. La présentation des coefficients binomiaux peut être faite dans ce contexte ou bien en lien avec le dénombrement.

On travaille dans  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  ou  $\mathbf{C}$ .

$\Rightarrow$  La plupart des formules présentées ici peuvent donner lieu à des algorithmes de calcul.

Contenus	Commentaires
<p>Notation <math>\Sigma</math>.</p> <p>Règles de calcul sur le symbole <math>\Sigma</math> : Linéarité, changements d'indices (translations et symétries), télescopages.</p> <p>Sommes doubles : <math>\sum_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m}} a_{i,j}</math> et <math>\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} a_{i,j}</math>.</p> <p>Notation <math>\Pi</math>.</p> <p>Règles de calcul sur le symbole <math>\Pi</math>.</p> <p>Factorielle, notation <math>n!</math>.</p>	<p>On précise qu'une somme ayant un ensemble d'indices vide est nulle.</p> <p>Les attendus du programme se limitent au maniement de ces symboles conduisant à les mettre sous la forme de deux sommes simples successives.</p> <p>On précise qu'un produit ayant un ensemble d'indices vide vaut 1.</p> <p>On se contente de mettre en valeur la multiplicité du symbole <math>\Pi</math>.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Somme de termes consécutifs d'une progression géométrique : $\sum_{0 \leq k \leq n} q^k = \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}$ Sommes des $n$ premiers entiers et des $n$ premiers carrés.  Coefficients binomiaux.  Triangle de Pascal. Formule du binôme.	La raison $q$ est dans $\mathbb{C} \setminus \{1\}$ .  On adopte la définition suivante : $\binom{n}{k} = \begin{cases} 0 & \text{si } k < 0 \text{ ou } k > n \\ \frac{n(n-1) \cdots (n-k+1)}{k!} = \frac{n!}{k!(n-k)!} & \text{sinon.} \end{cases}$ On met en valeur les formules : $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k} \quad \binom{n}{k} = \frac{n}{k} \binom{n-1}{k-1}$ $\binom{n}{k-1} + \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k}$

## Outils 6 – Vocabulaire des applications

On évite ici tout excès de formalisme et on illustre les notions présentées par des exemples issus majoritairement de fonctions de  $\mathbf{R}$  dans  $\mathbf{R}$ .

Ces notions ne pourront constituer le thème principal d'aucune question d'écrit ou d'oral.

Contenus	Commentaires
Application d'un ensemble de départ dans un ensemble d'arrivée. Image directe d'une partie de l'ensemble de départ.  Composition.  Injection, surjection, bijection, application réciproque. Composée de deux bijections, réciproque de la composée.	On introduit les exemples des fonctions indicatrices et des suites. La notion d'image réciproque d'une partie de l'ensemble d'arrivée n'est pas un attendu du programme. On étudie quelques exemples fournis par des fonctions de $\mathbf{R}$ dans $\mathbf{R}$ que l'on compose de diverses manières. On fait remarquer que, dans le cadre des fonctions de $\mathbf{R}$ dans $\mathbf{R}$ , une bijection et sa réciproque ont des graphes symétriques l'un de l'autre par rapport à la première bissectrice.

## Outils 7 – Dénombrement

Le but de ce chapitre est de mettre en place un vocabulaire efficace pour décrire (ou modéliser) et analyser les problèmes combinatoires, ainsi que quelques résultats fondamentaux associés. Les résultats de ce chapitre seront justifiés intuitivement, sans recours à des démonstrations formelles. De façon générale, on évitera tout excès de technicité dans les dénombrements.

Tous les ensembles considérés dans ce chapitre sont finis.

Dans les définitions qui suivent, on suppose que  $\text{card}(E) = n$ .

Contenus	Commentaires
Cardinal, notation $\text{card}(E)$ ou $\#E$ .  Cardinal d'une union disjointe. Formule $\text{card}(A \cup B) = \text{card}A + \text{card}B - \text{card}(A \cap B)$ .	On définit le cardinal grâce à la notion intuitive de nombre d'éléments. En particulier, deux ensembles en bijection ont même cardinal.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Cardinal d'un produit cartésien.</p> <p>Un élément de <math>E^p</math> est appelé un <math>p</math>-uplet ou une <math>p</math>-liste de <math>E</math>. Il y a <math>n^p</math> <math>p</math>-uplets de <math>E</math>.</p> <p>Un <math>p</math>-uplet est dit sans répétition lorsque ses éléments sont distincts deux à deux. il y a <math>n(n-1)\cdots(n-p+1)</math> <math>p</math>-uplets sans répétition de <math>E</math>. Un <math>n</math>-uplet de <math>E</math> contenant exactement une fois chaque élément de <math>E</math> est appelé une permutation de <math>E</math>. Il y a <math>n!</math> permutations de <math>E</math>.</p> <p>Si <math>p \leq n</math>, une <math>p</math>-combinaison de <math>E</math> est une partie de <math>E</math> à <math>p</math> éléments. Il y a <math>\binom{n}{p}</math> <math>p</math>-combinaisons de <math>E</math>.</p> <p>Cardinal de l'ensemble des parties de <math>E</math>.</p>	<p><math>\text{card}(E \times F)</math> est aussi le nombre de façons de choisir de façon indépendante un élément de <math>E</math> et un élément de <math>F</math>.</p> <p><math>\text{card}(E^p)</math> est le nombre de façons de choisir successivement <math>p</math> objets parmi <math>n</math> objets distincts, avec d'éventuelles répétitions.</p> <p>Le nombre de <math>p</math>-uplets sans répétition est le nombre de façons de choisir successivement <math>p</math> objets parmi <math>n</math> objets distincts, sans répétition.</p> <p><math>n!</math> est le nombre de façons de choisir successivement tous les objets d'un ensemble, sans répétition.</p> <p><math>\binom{n}{p}</math> est le nombre de façons de choisir simultanément <math>p</math> objets parmi <math>n</math> objets distincts. On peut sur cette base réinterpréter la formule du binôme.</p>

## Analyse 1 – Suites réelles usuelles

Le but de ce chapitre est d'étendre un peu l'ensemble des suites « connues » et de développer les aptitudes au calcul sur ces suites; le point de vue est ici algébrique.

On ne travaille ici qu'avec des suites réelles.

Contenus	Commentaires
<p>Somme, produit, quotient de suites réelles.</p> <p>Suites arithmétiques, suites géométriques. Terme général.</p> <p>Suites arithmético-géométriques.</p> <p>Suites vérifiant une relation du type <math>u_{n+2} = au_{n+1} + bu_n</math>.</p>	<p>La formule donnant le terme général n'est pas au programme. On cherchera une suite constante solution pour déterminer toutes les solutions.</p> <p>On se limite à la maîtrise d'une méthode de calcul du <math>n</math>-ième terme à partir de l'équation caractéristique. Au besoin, on transite par C dans le seul but de restituer plus rapidement la forme des solutions.</p> <p><math>\Rightarrow</math> On pourra illustrer ces différents types de suites avec des modèles discrets de populations.</p> <p><math>\Rightarrow</math> Algorithme de calcul du <math>n</math>-ième terme.</p>

## Analyse 2 – Fonctions réelles usuelles

Le but de ce chapitre est de consolider et d'enrichir modérément le registre des fonctions usuelles. Pour chaque fonction, la maîtrise attendue concerne la définition, les principales propriétés, la formule de dérivation (avec son domaine de validité) et la courbe représentative.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Généralités sur les fonctions</b></p> <p>Ensemble de définition.</p>	<p>On se contente de donner ou de rappeler les définitions dans le cadre des fonctions réelles de la variable réelle.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Représentation graphique d'une fonction $f$ à valeurs réelles.  Notions d'image et d'antécédent. Parité, périodicité. Fonctions majorées, minorées, bornées. Monotonie. Opérations algébriques sur les fonctions. Composition de fonctions.	Graphes des fonctions $x \mapsto f(x) + a$ , $x \mapsto f(a - x)$ , $x \mapsto f(ax)$ , $x \mapsto af(x)$ . $\Leftrightarrow$ Utilisation d'une bibliothèque graphique Python.  Interprétation géométrique de ces propriétés.
<b>b) Étude d'une fonction</b> Réduction du domaine d'étude selon les symétries et/ou les périodicités déterminées. Tableau de variations. Équation de la tangente en un point. Asymptotes verticales et horizontales, tracé du graphe.	On abordera uniquement des exemples simples. Les notions de continuité, dérivabilité et asymptotes obliques seront étudiées dans les chapitres Analyse 6, Analyse 7 et Analyse 10.
<b>c) Fonctions usuelles</b> Fonctions affines. Fonctions puissances d'exposant entier (dans $\mathbf{Z}$ ), Fonction racine carrée. Fonctions exponentielle et logarithme népérien ( $\ln$ ).  Notation $a^b$ . Fonctions exponentielles : $x \mapsto a^x$ avec $a \in \mathbf{R}_+^*$ . Fonction logarithme décimal ( $\log$ ).  Fonctions puissances : $x \mapsto x^\alpha$ avec $\alpha \in \mathbf{R} \setminus \mathbf{Z}$ Fonctions circulaires : $\sin$ , $\cos$ et $\tan$ . Fonctions partie entière $[\cdot]$ et valeur absolue $ \cdot $ .	Les polynômes seront développés dans le chapitre Algèbre – Polynômes réels. $\Leftrightarrow$ Pour ces diverses fonctions, les courbes représentatives sont mises en valeur comme des outils fondamentaux pour la modélisation, la reconnaissance des formes graphiques etc. On généralise les propriétés évoquées dans Outils 2.  Les logarithmes dans une base différente de $e$ et $10$ sont hors programme. Les fonctions hyperboliques sont hors programme. $x \mapsto x^\alpha$ est définie sur $\mathbf{R}_+^*$ . Formule $\tan' = 1 + \tan^2 = \frac{1}{\cos^2}$ .

### Analyse 3 – Calculs de dérivées, de primitives et d'intégrales

Le but de ce chapitre est de consolider et de compléter la maîtrise des règles de dérivation et de quelques techniques de primitivation pour permettre la résolution d'équations différentielles et leur utilisation en sciences physiques.

Contenus	Commentaires
<b>a) Calculs de dérivées</b> Calculs des dérivées : sommes, produits, quotients.  Dérivation d'une fonction composée.	Révision des règles correspondantes. Les dérivées des fonctions usuelles doivent être connues. On pourra introduire la notation $\frac{d}{dx}$ . On insiste sur le fait qu'une composée de fonctions dérivables est dérivable.
<b>b) Calcul des dérivées partielles d'une fonction de deux variables</b> Dérivées partielles d'une fonction de deux variables.	On introduit les notations $\frac{\partial}{\partial x}$ , $\frac{\partial}{\partial y}$ . $\Leftrightarrow$ Le calcul des dérivées partielles est présenté en lien avec l'usage qui en est fait en physique.
<b>c) Calculs de primitives</b> Primitives usuelles et calculs simples de primitives.	Primitives de $u'e^u$ , $u'u^n$ , $u'/u$ , $u'/\sqrt{u}$ , $u'\sin u$ , $u'\cos u$ .

Contenus (suite)	Commentaires
	On remarquera que $x \mapsto x \ln(x) - x$ est une primitive de $\ln$ .
<b>d) Calculs d'intégrales</b> Calcul à l'aide d'une primitive.  Intégration par parties. Changement de variable.	À ce stade, le lien entre primitives et intégrales est admis. On interprétera l'intégrale en termes d'aires et les propriétés de l'intégrale seront étudiées plus formellement dans le chapitre Analyse 8.  La théorie du changement de variable sera faite dans Analyse 8.

## Analyse 4 – Équations différentielles linéaires simples

L'objectif de ce chapitre est de rappeler et d'approfondir la problématique des équations différentielles, en vue des usages qui en sont faits en physique, chimie, biologie.

Contenus	Commentaires
<b>a) Équations du premier ordre</b> Résolution de $y' + a(t)y = f(t)$ où $a$ et $f$ sont des fonctions continues sur un intervalle : <ul style="list-style-type: none"> <li>• résolution de l'équation homogène associée, cas particulier où <math>a</math> est constante,</li> <li>• principe de superposition,</li> <li>• méthode de variation de la constante,</li> <li>• cas particulier où <math>a</math> et <math>f</math> sont constantes.</li> </ul>	Pour toute autre équation différentielle du premier ordre, une méthode de résolution doit être fournie. $\Rightarrow$ On peut montrer des exemples tirés de la physique-chimie : cinétique d'une réaction, charge d'un condensateur, système physique en contact avec un thermostat, ...
<b>b) Équations du second ordre</b> Résolution de $ay'' + by' + cy = f(t)$ où $a, b$ et $c$ sont des réels avec $a \neq 0$ et $f$ une fonction continue sur un intervalle : <ul style="list-style-type: none"> <li>• résolution de l'équation homogène associée,</li> <li>• principe de superposition,</li> <li>• détermination d'une solution particulière.</li> </ul>	La résolution de l'équation homogène se fera à l'aide de l'équation caractéristique. On pourra à cette occasion introduire la fonction de $\mathbf{R}$ dans $\mathbf{C}$ : $t \mapsto e^{\alpha t}$ avec $\alpha \in \mathbf{C}$ . $\Rightarrow$ On peut traiter en exemple l'équation de l'oscillateur harmonique $y'' + \omega^2 y = 0$ dont les solutions sont présentées sous diverses formes; et par extension aux sciences physiques dériver et chercher une primitive à $t \mapsto e^{i\omega t}$ .  La forme d'une solution particulière est donnée sauf lorsque $f$ est une fonction constante. Par exemple, lorsque $f$ est de la forme $t \mapsto \sin(\omega t)$ ou $t \mapsto \cos(\omega t)$ , l'énoncé devra indiquer de chercher une solution du type $t \mapsto \lambda \sin(\omega t) + \mu \cos(\omega t)$ ou $t \mapsto \lambda t \sin(\omega t) + \mu t \cos(\omega t)$ , $\lambda$ et $\mu$ étant à déterminer.

## Algèbre linéaire 1 – Systèmes linéaires

$\Rightarrow$  Le premier contact avec l'algèbre linéaire est de nature algorithmique. Il est envisageable de programmer l'algorithme du pivot en restant sur des approches simples. .

On travaille sur  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  le plus souvent en pratique, occasionnellement sur  $\mathbf{K} = \mathbf{C}$ .

Contenus	Commentaires
<b>a) Généralités sur les systèmes linéaires</b> Équation linéaire à $p$ inconnues. Système linéaire de $n$ équations à $p$ inconnues $x_1, \dots, x_p$ .	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Système linéaire homogène.</p> <p>Système compatible, système incompatible, système de Cramer.</p> <p>Opérations élémentaires sur les lignes d'un système linéaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• échange des lignes <math>L_i</math> et <math>L_j</math>,</li> <li>• ajout de <math>\lambda L_j</math> à <math>L_i</math>,</li> <li>• multiplication de <math>L_i</math> par <math>\lambda \neq 0</math>.</li> </ul> <p>Deux systèmes sont dits équivalents si on peut passer de l'un à l'autre par une suite finie d'opérations élémentaires sur les lignes.</p> <p>Deux systèmes équivalents ont le même ensemble de solutions.</p>	<p>Tout système linéaire homogène est compatible.</p> <p>On emploiera les notations suivantes :</p> $L_i \leftrightarrow L_j,$ $L_i \leftarrow L_i + \lambda L_j,$ $L_i \leftarrow \lambda L_i.$
<p><b>b) Échelonnement et algorithme du pivot de Gauss</b></p> <p>Système échelonné : un système est échelonné s'il vérifie les deux propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• si une ligne a un membre de gauche nul, toutes les lignes suivantes ont aussi un membre de gauche nul,</li> <li>• dans les lignes dont le membre de gauche est non nul, l'indice de l'inconnue portant le premier coefficient non nul à partir de la gauche croît strictement.</li> </ul> <p>On appelle pivot le premier coefficient non nul de chaque ligne dont le membre de gauche est non nul.</p> <p>Détermination, pour un système linéaire, d'un système échelonné équivalent par la méthode du pivot de Gauss.</p>	<p>On se limite à la mise en pratique de la méthode; l'écriture formelle d'un algorithme de réduction n'est pas un attendu du programme.</p>
<p><b>c) Ensemble des solutions d'un système linéaire</b></p> <p>Rang d'un système échelonné : c'est son nombre de pivots.</p> <p>Rang d'un système : c'est le rang de tout système échelonné équivalent.</p> <p>Inconnues principales, inconnues secondaires (variables libres).</p> <p>Résolution d'un système échelonné.</p> <p>Résolution d'un système : un système linéaire a zéro, une seule ou une infinité de solutions. Dans ce dernier cas, on exprime toutes les inconnues en fonction des inconnues secondaires.</p>	<p>On admet que deux systèmes échelonnés équivalents ont même rang.</p> <p>On fait le lien avec les problèmes d'intersection de droites et de plans (dans le plan ou dans l'espace).</p>

## Algèbre linéaire 2 – Matrices

Le but de ce chapitre est de mettre en place le calcul sur les matrices avec ses analogies et différences vis-à-vis du calcul sur les nombres réels et complexes. La mise en pratique de ce calcul peut nécessiter l'usage de l'ordinateur.

On travaille sur  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  le plus souvent en pratique, occasionnellement sur  $\mathbf{K} = \mathbf{C}$ .

On ne confondra pas matrices (ou vecteurs) lignes et matrices (ou vecteurs) colonnes.

Contenus	Commentaires
<p>Matrices : définition, vocabulaire. Matrice nulle.</p> <p>Matrices carrées, matrices lignes, colonnes.</p> <p>Matrices triangulaires, diagonales. Matrice identité.</p> <p>Opérations sur les matrices : somme, produit par un scalaire, produit matriciel. Formule du binôme quand les deux matrices commutent.</p> <p>Propriétés de ces opérations.</p>	<p>Produit de matrices diagonales.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Transposée d'une matrice <math>M</math>, notée <math>M^T</math>.</p> <p>Transposée d'une somme, d'un produit de matrices.</p> <p>Matrices carrées symétriques.</p> <p>Écriture matricielle d'un système linéaire.</p> <p>Rang d'une matrice.</p> <p>Matrices carrées inversibles, matrice inverse, inverse d'un produit, inverse de la transposée d'une matrice carrée inversible.</p> <p>Recherche pratique de l'inverse d'une matrice.</p> <p>Déterminant des matrices <math>2 \times 2</math> et caractérisation des matrices <math>2 \times 2</math> inversibles.</p> <p>Expression matricielle formelle, <math>X = A^{-1}Y</math>, de la solution d'un système linéaire <math>AX = Y</math> lorsque la matrice carrée <math>A</math> qui lui est associée est inversible.</p>	<p>On adapte la méthode du pivot qui devient un algorithme opérant sur les lignes ou les colonnes d'une matrice. Le rang d'une matrice est alors défini comme le nombre de pivots. On admet que le rang d'une matrice et de sa transposée sont les mêmes.</p> <p>On pourra proposer, dès que le cours sur les espaces vectoriels aura été traité, des caractérisations du rang d'une matrice permettant d'éviter le recours systématique à la méthode du pivot de Gauss pour déterminer le rang dans la pratique.</p> <p>L'inversion peut se ramener à la résolution de systèmes linéaires. La description d'un algorithme d'inversion de matrices n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Seul le déterminant des matrices <math>2 \times 2</math> est introduit et les formules de Cramer, même dans le cas <math>2 \times 2</math>, ne sont pas exigibles.</p>

## Géométrie 1

Ce chapitre vise à consolider les acquis des années antérieures sur les notions de vecteurs, droites et plans dans le plan et l'espace géométriques. En mathématiques, il sert essentiellement de support intuitif et introductif à l'algèbre linéaire ; il permet aussi de présenter le produit scalaire qui sera étudié dans des espaces plus généraux en seconde année. Enfin, ce chapitre sert également aux sciences physiques et à la géologie. En mathématiques, une épreuve écrite ou orale ne doit pas reposer sur ce chapitre.

Dans tout ce chapitre, on se place dans le plan et l'espace géométriques formés de points et dans lesquels plusieurs notions et résultats sont supposés connus : distance entre deux points, parallélisme, perpendicularité, angle géométrique, angle orienté, angle droit, cosinus d'un angle géométrique, trigonométrie du triangle rectangle.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Vecteurs du plan et de l'espace.</b></p> <p>Vecteurs « géométriques » du plan et de l'espace. Un vecteur non nul est caractérisé par sa direction, son sens, sa norme. Vecteur directeur d'une droite. Vecteur nul. Notation <math>\vec{0}</math>.</p> <p>Étant donné un vecteur <math>\vec{u}</math> et un point <math>O</math>, il existe un et un seul point <math>M</math> tel que <math>\overrightarrow{OM} = \vec{u}</math>.</p> <p>Opérations sur les vecteurs définies géométriquement : addition et multiplication par un nombre réel. Relation de Chasles. Colinéarité. Coplanarité.</p> <p>Bases et repères du plan et de l'espace.</p> <p>Résultat admis : existence et unicité des coordonnées d'un vecteur dans une base du plan ou de l'espace.</p>	<p>Un vecteur peut être représenté par deux points du plan. La notion de relation d'équivalence entre bi-points n'est pas un attendu du programme.</p> <p>On pourra faire le lien avec le théorème de Thalès.</p> <p>Une base du plan (resp. de l'espace) est la donnée de deux (resp. trois) vecteurs non colinéaires (resp. non coplanaires).</p> <p>Ce résultat sera repris et formalisé dans le chapitre Algèbre linéaire 3 – Espace vectoriel <math>\mathbf{K}^n</math> et sous-espaces vectoriels.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Une base orthonormée du plan (resp. de l'espace) est la donnée de deux (resp. trois) vecteurs orthogonaux de norme 1 ; un repère orthonormé est la donnée d'un point et d'une base orthonormée.	
<b>b) Déterminant</b> Une base orthonormée du plan étant fixée, déterminant de deux vecteurs dans le plan définis à l'aide de leurs coordonnées. Caractérisation de la colinéarité de deux vecteurs du plan par l'annulation du déterminant.	On fait le lien avec le déterminant de la matrice des vecteurs dans une base qui est une matrice carrée $2 \times 2$ .
<b>c) Droites et cercles dans le plan</b> Vecteur directeur d'une droite. Représentation paramétrique d'une droite. Vecteur normal à une droite. Équation cartésienne d'une droite obtenue à l'aide d'un vecteur normal. Coefficient directeur (ou pente) d'une droite. Équation cartésienne d'un cercle défini par son centre et son rayon.	Une droite est déterminée par la donnée d'un point et d'un vecteur non nul : un tel vecteur est appelé vecteur directeur de la droite.
<b>d) Droites et plans dans l'espace</b> Base d'un plan. Représentation paramétrique d'un plan. Vecteur normal à un plan. Équation cartésienne d'un plan obtenue à l'aide d'un vecteur normal.  Vecteur directeur d'une droite. Représentation paramétrique d'une droite. Équations cartésiennes (système d'équations linéaires) d'une droite.	Les sphères ne sont pas un attendu du programme. Un plan est déterminé par la donnée d'un point $A$ et de deux vecteurs $\vec{u}, \vec{v}$ non colinéaires : on dit que le triplet $(A, \vec{u}, \vec{v})$ forme un repère du plan, et le couple $(\vec{u}, \vec{v})$ une base du plan.
<b>e) Projection orthogonale</b> Projection orthogonale d'un point $M$ sur une droite $\mathcal{D}$ donnée par un point $A$ et un vecteur $\vec{u}$ : c'est l'unique point $H$ de la droite tel que les vecteurs $\overrightarrow{HM}$ et $\vec{u}$ sont orthogonaux. Lien avec la distance entre le point $M$ et la droite $\mathcal{D}$ .  Projection orthogonale d'un point $M$ sur un plan affine $\mathcal{P}$ donné par un repère $(A, \vec{u}, \vec{v})$ : c'est l'unique point $H$ du plan tel que $\overrightarrow{HM}$ est orthogonal aux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ . Lien avec la distance entre le point $M$ et le plan $\mathcal{P}$ .	$\Leftrightarrow$ On pourra aborder la définition de projection orthogonale d'un vecteur sur une droite en lien avec les applications en physique. Aucune formule générale donnant la distance entre un point et une droite n'est exigible.  Aucune formule générale donnant la distance entre un point et un plan n'est exigible.
<b>f) Produit scalaire</b> Définition du produit scalaire usuel de deux vecteurs à partir de la projection orthogonale. Formulation du produit scalaire à l'aide du cosinus de l'angle formé entre deux vecteurs non nuls. Caractérisation de l'orthogonalité de deux vecteurs par le produit scalaire. Propriétés : symétrie, bilinéarité, positivité. Lien avec la norme.  Expression du produit scalaire à partir des coordonnées dans une base orthonormée.	Aucun développement sur la notion d'angle orienté n'est un attendu du programme. On pourra énoncer l'inégalité de Cauchy-Schwarz.  La bilinéarité du produit scalaire pourra être admise.

## Statistique 1 – Statistique descriptive

La plupart des notions étudiées dans ce chapitre ont été présentées dans les classes antérieures. Il s'agit d'abord de préciser le vocabulaire et de rappeler quelques techniques élémentaires de description statis-

tique.

⇒ Un choix d'exemples, inspirés de situations rencontrées en biologie, géologie, physique ou chimie, permettra de montrer l'intérêt et les limites des résumés statistiques introduits, avant de pouvoir aborder la question du lien éventuel entre deux caractères d'une même population.

⇒ Calcul d'une moyenne, d'une moyenne glissante ou d'autres paramètres statistiques; mise en valeur graphique des données.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Statistique univariée</b></p> <p>Caractère. Distinction entre caractères quantitatifs (discrets ou continus) et qualitatifs.</p> <p>Modalités d'un caractère, cas des regroupements par classes.</p> <p>Description d'une série statistique de taille <math>n</math> portant sur un caractère <math>x</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• présentation brute des données : l'observation se traduit par un <math>n</math>-uplet <math>(x_1, x_2, \dots, x_n)</math></li> <li>• présentation dans un tableau : effectifs de chaque modalité.</li> </ul> <p>Effectifs cumulés, fréquences, fréquences cumulées.</p> <p>Représentations graphiques.</p> <p>Caractéristiques (empiriques) de position :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mode</li> <li>• moyenne <math>\bar{x}</math> (les calculs se font à partir des observations ou du tableau des effectifs)</li> <li>• médiane (les calculs se font à partir du tableau des effectifs ou du polygone des effectifs/fréquences cumulés/es notamment lorsque les modalités sont regroupées par classes).</li> </ul> <p>Caractéristiques (empiriques) de dispersion :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• variance <math>s_x^2</math> et écart-type <math>s_x</math> (les calculs se font à partir des observations ou du tableau des effectifs)</li> <li>• quartiles, déciles (les calculs se font à partir du polygone des effectifs cumulés ou des fréquences cumulées)</li> </ul>	<p>Un caractère est encore appelé variable ou variable statistique.</p> <p>Diagrammes en bâtons, histogrammes, polygones des effectifs cumulés (<i>resp.</i> fréquences cumulées).</p> <p>⇒ On montre, sur des exemples tirés de données réelles, que ces caractéristiques peuvent donner des indications plus ou moins pertinentes.</p> <p>Modalité de l'individu médian ou moyenne des modalités des deux individus médians selon la parité de <math>n</math>.</p> <p>⇒ Algorithmes de tri.</p> <p>La formule avec le facteur <math>\frac{1}{n-1}</math> n'est pas attendu du programme.</p>
<p><b>b) Statistique bivariée</b></p> <p>Série statistique double de taille <math>n</math> portant sur deux caractères quantitatifs <math>x</math> et <math>y</math>.</p> <p>Présentation brute des données : l'observation se traduit par un <math>n</math>-uplet d'éléments de <math>\mathbf{R}^2</math> <math>((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))</math>.</p> <p>Représentation par un nuage de points de <math>\mathbf{R}^2</math>. Point moyen <math>(\bar{x}, \bar{y})</math> du nuage.</p> <p>Caractéristiques d'une série statistique double :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• covariance <math>s_{xy}</math></li> <li>• coefficient de corrélation <math>r_{xy}</math>.</li> </ul> <p>Approche descriptive de l'ajustement affine selon la méthode des moindres carrés.</p>	<p>On se limite au cas de <math>n</math> couples deux à deux distincts.</p> <p>Les calculs se font à partir des observations.</p> <p>L'optimalité de l'ajustement est, à ce stade, admise.</p> <p>⇒ L'objectif est de présenter graphiquement une méthode pouvant intervenir dans les autres enseignements scientifiques.</p> <p>On montre sur des exemples comment des changements de variables peuvent transformer le nuage de points de sorte qu'un ajustement affine soit graphiquement plus pertinent.</p>

### 3 – Programme du second semestre

#### Algèbre – Polynômes réels

En première année, les polynômes sont exclusivement définis comme fonctions polynomiales de  $\mathbf{R}$  dans  $\mathbf{R}$ . Le théorème de d'Alembert - Gauss, sous une forme ou une autre, est hors programme. Les notions de polynôme en tant qu'objet formel et de fraction rationnelle sont hors programme.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Polynômes, règles de calcul.</b></p> <p>Notation <math>P : x \mapsto \sum_{k=0}^n a_k x^k</math>. Monômes, coefficients. Polynôme nul. Cas particuliers : polynômes constants, fonctions affines, fonctions puissances entières.</p> <p>Les opérations usuelles (combinaison linéaire, produit, composée) sur les polynômes fournissent des polynômes.</p> <p>Unicité de l'écriture des polynômes : un polynôme à coefficients dans <math>\mathbf{R}</math> est nul si et seulement si tous ses coefficients sont nuls.</p> <p>Coefficient dominant. Degré d'un polynôme.</p> <p>Degré d'une somme, d'un produit de polynômes.</p> <p>Polynôme dérivé. Degré du polynôme dérivé.</p>	<p>Les notations <math>X</math>, <math>\mathbf{R}[X]</math> ne sont pas exigibles en première année.</p> <p>En conséquence, deux polynômes sont égaux si et seulement s'ils ont les mêmes coefficients.</p> <p>On convient que le polynôme nul est de degré <math>-\infty</math>.</p> <p>Le degré d'une composée de polynômes n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Les formules donnant les coefficients des dérivées <math>k</math>-ièmes, <math>k &gt; 2</math>, ne sont pas exigibles.</p> <p>La formule de Taylor est hors programme.</p>
<p><b>b) Racines et factorisation.</b></p> <p>Racines réelles (ou zéros réels) d'un polynôme.</p> <p>Un nombre réel <math>\alpha \in \mathbf{R}</math> est racine d'un polynôme <math>P</math> si et seulement s'il existe un polynôme <math>Q</math> tel que <math>P(x) = (x - \alpha)Q(x)</math> pour tout <math>x \in \mathbf{R}</math>.</p> <p>Généralisation à plusieurs racines distinctes.</p> <p>Le nombre de racines distinctes d'un polynôme non nul est majoré par son degré.</p> <p>Tout polynôme de degré impair a au moins une racine réelle.</p> <p>Un polynôme de degré <math>n \in \mathbf{N}^*</math> possédant <math>n</math> racines distinctes s'écrit sous la forme <math>P : x \mapsto a_n(x - \alpha_1) \cdots (x - \alpha_n)</math>.</p>	<p>La division euclidienne des polynômes ainsi que la factorisation des polynômes réels en produit de polynômes irréductibles sur <math>\mathbf{R}</math> sont hors programme.</p> <p>On pourra illustrer avec des exemples de polynômes réels sans racines réelles, ou à l'opposé de polynômes totalement décomposés sur <math>\mathbf{R}</math>.</p>
<p><b>c) Racines multiples</b></p> <p>Ordre de multiplicité d'une racine.</p> <p>Une racine <math>\alpha</math> d'un polynôme <math>P</math> est une racine multiple si et seulement si <math>P'(\alpha) = 0</math>.</p>	<p>On met en évidence, à partir d'exemples, les notions de racines simples, racines multiples.</p>

#### Analyse 5 – Suites réelles

Contenus	Commentaires
<p>Suites majorées, minorées, bornées. Suites monotones.</p> <p>Convergence, divergence. Limite infinie.</p> <p>Comparaison de la convergence et de la limite d'une suite <math>(u_n)</math> avec celles des deux suites <math>(u_{2n})</math> et <math>(u_{2n+1})</math>.</p> <p>Opérations sur les limites.</p>	<p>La définition d'une limite par <math>(\varepsilon, n_0)</math> est présentée, mais aucune technicité ne pourra être exigée en la matière.</p> <p>Utilisation de cette comparaison pour justifier une divergence. La notion générale de suite extraite est hors programme.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Résultats fondamentaux sur les limites et inégalités :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signe d'une suite de limite non nulle.</li> <li>• Passage à la limite dans une inégalité large.</li> <li>• Théorème d'encadrement, dit « des gendarmes », et extension aux limites infinies.</li> </ul> <p>Théorème de la limite monotone.</p> <p>Suites adjacentes et théorème des suites adjacentes.</p> <p>Exemples d'étude de suites du type <math>u_{n+1} = f(u_n)</math>.</p> <p>Croissances comparées entre les suites factorielle, puissance (<math>n^\alpha</math> avec <math>\alpha &gt; 0</math>), géométriques (<math>a^n</math> avec <math>a &gt; 1</math>).</p> <p>Suites équivalentes, notation <math>u_n \sim v_n</math>.</p> <p>L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élevation à une puissance constante.</p> <p>Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.</p>	<p>Toute suite réelle monotone admet une limite finie ou infinie.</p> <p>Un plan d'étude détaillé sera toujours proposé. Il pourra commencer par la détermination d'un intervalle stable.</p> <p>Aucun théorème général relatif à ce type de suites n'est exigible des étudiants.</p> <p>L'étude numérique (par itération) et graphique sont présentées comme outils d'étude et de formation de conjectures. L'objectif est alors l'étude de la monotonie et de la convergence de telles suites dans les cas simples de fonctions <math>f</math> monotones.</p> <p>Le développement sur les équivalents doit être modeste et se limiter aux suites dont le terme général ne s'annule pas à partir d'un certain rang.</p>

## Analyse 6 – Limites, continuité des fonctions réelles

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Limites</b></p> <p>Limite d'une fonction en un point.</p> <p>Limite à droite, limite à gauche.</p> <p>Limite en <math>+\infty</math> ou <math>-\infty</math>.</p> <p>Si <math>(u_n)</math> tend vers <math>a</math> et si la limite de <math>f</math> en <math>a</math> est <math>b</math>, alors la suite <math>(f(u_n))</math> tend vers <math>b</math>.</p> <p>Opérations sur les limites. Limite de fonctions composées.</p> <p>Résultats fondamentaux sur les limites et inégalités :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signe d'une fonction de limite non nulle.</li> <li>• Passage à la limite dans une inégalité large.</li> <li>• Théorème dit « des gendarmes » et extension aux limites infinies.</li> </ul> <p>Théorème de la limite monotone.</p>	<p>La définition d'une limite par <math>(\varepsilon, \alpha)</math> est présentée, mais les détails techniques ne sont pas un attendu du programme.</p> <p>Une fonction monotone sur un intervalle ouvert admet une limite finie ou infinie aux bornes de l'intervalle.</p>
<p><b>b) Comparaison de fonctions</b></p> <p>Croissances comparées des fonctions exponentielles, puissances et logarithmes.</p> <p>Fonctions équivalentes, notation <math>f \sim g</math>.</p> <p>L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élevation à une puissance constante.</p> <p>Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.</p>	<p>Connaissance de <math>\lim_{x \rightarrow 0} x^\alpha \ln^\beta(x)</math>, de <math>\lim_{x \rightarrow +\infty} x^\alpha \exp(-\beta x^\gamma)</math> où <math>\alpha, \beta, \gamma</math> prennent des valeurs usuelles conduisant à des indéterminations.</p> <p>Le développement reste modeste et se limite aux fonctions qui ne s'annulent pas au voisinage du point de référence.</p>
<p><b>c) Continuité</b></p> <p>Continuité en un point. Continuité à droite et à gauche.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
Opérations, composition. Prolongement par continuité. Continuité sur un intervalle. Toute fonction continue sur un segment est bornée et atteint ses bornes. Théorème des valeurs intermédiaires.	Ce résultat est admis.  On peut présenter une idée de la démonstration en s'appuyant sur un principe de dichotomie.
<b>d) Bijections continues</b> Théorème de la bijection : une fonction $f$ continue et strictement monotone sur un intervalle $I$ réalise une bijection de $I$ sur l'ensemble $f(I)$ , qui est un intervalle, et sa réciproque est continue et strictement monotone sur $f(I)$ .  Définition, monotonie et représentation graphique de la fonction arctan.	$\Rightarrow$ Algorithme de dichotomie sur des exemples d'équations de type $f(x) = 0$ .  Aucune formule n'est à connaître excepté l'imparité de la fonction arctan.

## Analyse 7 – Dérivation des fonctions réelles

Contenus	Commentaires
<b>a) Dérivée</b> Dérivée en un point. Dérivée à gauche, dérivée à droite. Fonction dérivée. Notations $f'$ et $\frac{df}{dx}$ . Interprétation graphique, équation de la tangente à une courbe d'équation $y = f(x)$ . Opérations sur les dérivées : linéarité, produit, quotient, fonction composée. Dérivation d'une fonction réciproque.	Révisions des acquis des classes antérieures.  La formule de Leibniz est hors programme.  Dérivée de la fonction arctan.
<b>b) Théorème de Rolle et conséquences</b> Théorème de Rolle. Formule des accroissements finis.  Caractérisation des fonctions croissantes (au sens large) par la positivité de leur dérivée. Cas des fonctions constantes. Cas des fonctions strictement croissantes.  Recherche d'extrémums.	L'inégalité des accroissements finis est hors programme et doit être établie à chacune de ses utilisations.  Une fonction continue définie sur un intervalle et dont, sauf peut-être en un nombre fini de points, la dérivée existe et est strictement positive, est strictement croissante.
<b>c) Dérivées d'ordre supérieur</b> Fonctions de classe $\mathcal{C}^n$ , de classe $\mathcal{C}^\infty$ . Une combinaison linéaire, le produit et la composée de deux fonctions de classe $\mathcal{C}^n$ est de classe $\mathcal{C}^n$ .	La formule de Taylor-Lagrange est hors programme.

## Analyse 8 – Intégration d'une fonction continue réelle sur un segment

Contenus	Commentaires
<b>a) Notions d'intégrale</b> Intégrale d'une fonction continue et positive $f$ sur un segment $[a,b]$ : il s'agit de l'aire sous la courbe. Elle est notée $\int_a^b f(t) dt$ . Intégrale d'une fonction continue de signe quelconque.  Extension de la définition au cas $b \leq a$ .	La notion d'aire est ici intuitive et ne doit pas soulever de question théorique. Définition à partir de la partie positive et de la partie négative de la fonction.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Sommes de Riemann sur <math>[a, b]</math> :</p> $\int_a^b f(t) dt = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b-a}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f\left(a + \frac{k}{n}(b-a)\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b-a}{n} \sum_{k=1}^n f\left(a + \frac{k}{n}(b-a)\right)$	<p>La notion d'aire étant admise, on admettra la convergence de la suite des sommes de Riemann dans le cas <math>\mathcal{C}^0</math> et on pourra la justifier dans le cas <math>\mathcal{C}^1</math>. On observera que la formule n'était pas si intuitive : les erreurs élémentaires vont en rapetissant, mais sont aussi de plus en plus nombreuses.  <math>\Leftrightarrow</math> Algorithme de calcul approché d'une intégrale.</p>
<p><b>b) Propriétés de l'intégrale :</b>            Linéarité, relation de Chasles, positivité, stricte positivité (<math>f</math> positive non nulle), croissance de l'intégrale.</p> <p>Encadrement de l'intégrale à partir d'un encadrement de la fonction. Pour <math>a &lt; b</math>, majoration <math>\left  \int_a^b f(t) dt \right  \leq \int_a^b  f(t)  dt</math>.</p> <p>Valeur moyenne d'une fonction continue sur un segment.</p>	<p>Les démonstrations ne sont pas exigibles mais les propriétés peuvent être déduites de la relation des sommes de Riemann ou de l'interprétation en termes d'aires.</p> <p>La valeur moyenne appartient à l'ensemble des valeurs atteintes par la fonction.</p>
<p><b>c) Théorème fondamental de l'Analyse</b>            Théorème : si <math>f</math> est continue sur un intervalle <math>I</math> et <math>a</math> un point de <math>I</math>, alors la fonction <math>F</math> définie sur <math>I</math> par <math>F(x) = \int_a^x f(t) dt</math> est l'unique primitive de <math>f</math> sur <math>I</math> s'annulant en <math>a</math>.</p> <p>Pour toute fonction <math>f</math> continue sur <math>I</math>, si <math>F</math> est une primitive de <math>f</math>, pour tous <math>a</math> et <math>b</math> de <math>I</math>, on a : <math>\int_a^b f(t) dt = F(b) - F(a)</math>.</p>	<p>On remarquera que pour <math>f</math> de classe <math>\mathcal{C}^1</math> sur un intervalle <math>I</math> et <math>a</math> un point de <math>I</math>, <math>f(x) - f(a) = \int_a^x f'(t) dt</math>.</p> <p>Notation : <math>\int_a^b f(t) dt = [F(t)]_a^b</math></p>
<p><b>d) Méthodes de calculs</b>            Intégration par parties.</p> <p>Changement de variable.</p>	<p>Au cours d'une épreuve, sauf dans les cas simples, la nécessité d'une intégration par parties sera indiquée.</p> <p>Au cours d'une épreuve, sauf dans les cas simples, le changement de variable sera donné.</p>

## Analyse 9 – Développements limités et études de fonctions réelles

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Développements limités</b>            Définition de la notation <math>o(x^n)</math> pour désigner des fonctions négligeables devant la fonction <math>x \mapsto x^n</math> pour <math>n \in \mathbf{Z}</math>, au voisinage de 0 ou de l'infini.            Définition des développements limités en 0.            Unicité des coefficients d'un développement limité.            Opérations sur les développements limités : somme, produit.</p> <p>Primitivation d'un développement limité.            Formule de Taylor-Young : existence d'un développement limité à l'ordre <math>n</math> pour une fonction de classe <math>\mathcal{C}^n</math>.            Développements limités usuels au voisinage de 0 :  <math>\exp</math>, <math>\cos</math>, <math>\sin</math>, <math>x \mapsto 1/(1+x)</math>, <math>x \mapsto \ln(1+x)</math>, <math>x \mapsto (1+x)^\alpha</math>.</p>	<p>On se ramène, aussi souvent que nécessaire, à la limite d'un quotient.</p> <p>Les problèmes de développement limité en un réel non nul ou en <math>\pm\infty</math> sont ramenés en 0.            L'obtention d'un développement limité pour une fonction composée est présentée et mise en œuvre sur des exemples simples.</p> <p>La formule de Taylor-Young est admise.</p> <p>Les exercices de calcul de développements limités ont pour objet de faciliter l'assimilation des propriétés fondamentales et ne doivent pas être orientés vers la virtuosité calculatoire : sur les exemples numériques, on évitera tout développement limité au-delà de l'ordre 3.</p>
<p><b>b) Applications des développements limités</b>            Calcul d'équivalents et de limites.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
Étude locale d'une fonction : prolongement par continuité, dérivabilité d'un prolongement par continuité, tangente, position relative de la courbe et de la tangente.	

## Analyse 10 – Fonctions réelles de deux variables réelles

En mathématiques, une épreuve écrite ou orale ne doit pas reposer sur ce chapitre.

Contenus	Commentaires
<b>a) Notions fondamentales</b> Exemples de sous-ensembles de $\mathbf{R}^2$ : demi-plan, disque, pavé.  Fonctions de deux variables. Ensemble de définition. Fonctions partielles. Surface représentative d'une fonction de deux variables, courbes ou lignes de niveau.	On pourra illustrer les opérations ensemblistes à cette occasion (union, intersection).  On souligne le lien entre fonctions partielles et certaines sections de cette surface. $\Leftrightarrow$ Des illustrations tirées de problèmes de cartographie, thermodynamique ou géologie sont ici pertinentes.
<b>b) Continuité</b> Continuité en un point, continuité sur un pavé ouvert.	Aucune question sur ces notions de continuité ne doit être posée dans une épreuve de mathématiques.
<b>c) Dérivées partielles</b> Dérivées partielles. Fonctions de classe $\mathcal{C}^1$ sur un pavé ouvert du plan.  Définition du gradient; calcul dans un repère orthonormal en coordonnées cartésiennes. Dérivation d'une expression de la forme $t \mapsto f(x(t), y(t))$ , la fonction $f$ étant de classe $\mathcal{C}^1$ et les fonctions $x, y$ étant dérivables. Définition de point critique. Lien avec l'existence éventuelle d'extremum dans le cas d'une fonction définie sur un pavé ouvert et admettant des dérivées partielles.	Dans un énoncé on ne demandera jamais de montrer qu'une fonction est de classe $\mathcal{C}^1$ . Utilisation des dérivées partielles premières pour évaluer une petite variation de la valeur d'une fonction de classe $\mathcal{C}^1$ découlant de petites variations sur les variables. On pourra donner sans démonstration l'interprétation graphique du gradient.  Toute condition suffisante d'extrémalité est hors programme. Application à l'ajustement affine par les moindres carrés.
<b>d) Dérivées partielles d'ordre deux</b> Dérivées partielles d'ordre deux, interversion des dérivations.	Le théorème de Schwarz est admis.

## Algèbre linéaire 3 – Espace vectoriel $\mathbf{K}^n$ et sous-espaces vectoriels

On travaille sur  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  le plus souvent en pratique, occasionnellement sur  $\mathbf{K} = \mathbf{C}$ . L'espace vectoriel, comme objet général et abstrait, n'est formellement présenté qu'en seconde année.

Ce choix a pour ambition de donner aux étudiants une connaissance et une habitude « pratique » du calcul multidimensionnel qui confèrera à l'introduction de la notion générale d'espace vectoriel un arrière-plan concret. Le but est donc, en première année, de faire maîtriser les concepts fondamentaux sans excès de technicité ni d'abstraction en centrant le travail sur le calcul matriciel et les systèmes linéaires. Le lien avec la géométrie est à faire en chaque occasion propice.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Structure vectorielle</b></p> <p>Description de la structure vectorielle de <math>\mathbf{K}^n</math>, règles de calcul.</p> <p>Combinaison linéaire d'une famille finie de vecteurs. Sous-espaces vectoriels de <math>\mathbf{K}^n</math>.</p> <p>Intersection d'un nombre fini de sous-espaces vectoriels. Sous-espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs. Famille génératrice finie d'un sous-espace vectoriel. Famille libre finie, famille liée finie. Bases d'un sous-espace vectoriel.</p> <p>Coordonnées d'un vecteur par rapport à une base.</p> <p>Base canonique de <math>\mathbf{K}^n</math>.</p>	<p>On fait le lien avec les règles habituelles du calcul sur les vecteurs du plan et de l'espace en géométrie.</p> <p>On pourra faire remarquer que certains ensembles rencontrés dans d'autres chapitres (ensemble des polynômes de degré inférieur ou égal à <math>n</math>, ensemble des suites vérifiant une relation de récurrence linéaire, ensemble des solutions d'une équation différentielle linéaire, ensemble de matrices,...) possèdent eux aussi cette structure vectorielle, sans qu'aucune connaissance relative à la notion générale d'espace vectoriel ne soit requise à ce stade.</p> <p>On entend par sous-espace vectoriel un ensemble de vecteurs stable par combinaison linéaire et contenant le vecteur nul.</p> <p>On utilise la notation <math>\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)</math>.</p> <p>On admet l'existence de bases pour tout sous-espace vectoriel autre que l'espace nul.</p> <p>Une interprétation matricielle est ici pertinente, amenant à parler de la matrice colonne associée au vecteur, puis de la matrice d'une famille de vecteurs.</p> <p>On veillera à ne pas travailler systématiquement dans la base canonique en mettant en évidence l'intérêt, dans certains contextes, de choisir une autre base.</p>
<p><b>b) Dimension</b></p> <p>Dimension.</p> <p>Dans un espace vectoriel de dimension <math>p \geq 1</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute famille libre peut se compléter en une base.</li> <li>• Toute famille libre a au plus <math>p</math> éléments.</li> <li>• Une famille libre ayant <math>p</math> éléments est une base.</li> <li>• De toute famille génératrice on peut extraire une base.</li> <li>• Toute famille génératrice a au moins <math>p</math> éléments.</li> <li>• Une famille génératrice ayant <math>p</math> éléments est une base.</li> </ul> <p>Si <math>E</math> et <math>F</math> sont deux sous-espaces vectoriels de <math>\mathbf{K}^n</math> avec <math>F \subset E</math>, alors <math>\dim F \leq \dim E</math>; et si les deux dimensions sont égales, alors <math>F = E</math>.</p> <p>Rang d'une famille finie de vecteurs.</p>	<p>On admet que toutes les bases d'un sous-espace vectoriel ont même cardinal appelé dimension du sous-espace vectoriel.</p> <p>Aucune version plus précise de ce théorème n'est exigible.</p> <p>Les démonstrations ne sont pas exigibles</p> <p>On complète ces propositions par l'étude du cas particulier des familles orthogonales de deux ou trois vecteurs de l'espace de dimension 2 ou 3.</p> <p>Le rang peut se calculer pratiquement en adaptant la méthode du pivot aux familles finies de vecteurs.</p>

## Algèbre linéaire 4 – Applications linéaires et matrices

On travaille sur  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  le plus souvent en pratique, occasionnellement sur  $\mathbf{K} = \mathbf{C}$ .

On ne confondra pas matrices (ou vecteurs) lignes et matrices (ou vecteurs) colonnes.

Contenus	Commentaires
<p>Définition d'une application linéaire de <math>\mathbf{K}^p</math> dans <math>\mathbf{K}^n</math>.</p> <p>Opérations sur les applications linéaires : addition, multiplication par un scalaire, composition, réciproque. Propriétés de ces opérations.</p> <p>Noyau, image. Lien avec : <math>f</math> injective, <math>f</math> surjective, <math>f</math> bijective.</p> <p>Détermination d'une application linéaire par l'image des vecteurs d'une base. Matrice d'une application linéaire dans des bases.</p> <p>Matrice de la somme de deux applications linéaires, du produit par un scalaire d'une application linéaire, de la composée de deux applications linéaires, de l'application réciproque.</p> <p>Rang d'une application linéaire.</p> <p>Théorème du rang.</p>	<p>On pourra faire remarquer que certaines applications rencontrées dans d'autres chapitres (dérivation, intégration, espérance, applications du plan dans lui-même ou de l'espace dans lui-même, etc.) possèdent aussi la propriété de linéarité, sans pour autant aller plus loin.</p> <p>On fait le lien entre les différentes notions de rang, vues à propos des systèmes, des familles de vecteurs, des matrices et des applications linéaires.</p> <p>La démonstration n'est pas exigible.</p>

## Probabilités 1 – Concepts de base des probabilités

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Espace probabilisé</b></p> <p>Ensemble des résultats possibles de l'épreuve ou expérience aléatoire (univers). Événements. Événement certain, événement impossible, événements incompatibles.</p> <p>Système complet d'événements .</p> <p>Probabilité sur <math>\Omega</math>.</p> <p>Propriétés d'une probabilité :</p> $P(\bar{A}) = 1 - P(A), P(\emptyset) = 0, P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B).$ <p>Formule des probabilités totales : Si <math>(A_i)_{1 \leq i \leq n}</math> est un système complet d'événements et <math>B</math> un événement, on a : <math>P(B) = \sum_{i=1}^n P(B \cap A_i)</math>.</p> <p>Cas de l'équiprobabilité : probabilité uniforme.</p>	<p>On se limite au cas où l'algèbre des événements est l'ensemble des parties d'un ensemble fini <math>\Omega</math>.</p> <p>Un système complet pour <math>\Omega</math> est une famille d'événements deux à deux incompatibles dont la réunion est l'ensemble <math>\Omega</math>.</p> <p>La formule générale du crible est hors programme. On pourra voir comment retrouver la formule dans le cas de 3 événements.</p>
<p><b>b) Conditionnement</b></p> <p>Définition de la probabilité conditionnelle.</p> <p><math>P_A</math> est une probabilité.</p> <p>Formule de conditionnement <math>P(A \cap B) = P(A)P_A(B)</math>.</p> <p>Formule des probabilités composées (conditionnements successifs).</p> <p>Réécriture de la formule des probabilités totales en termes de probabilités conditionnelles.</p> <p>Formule de Bayes.</p>	<p>On utilise l'une ou l'autre des deux notations <math>P(B   A)</math> et <math>P_A(B)</math> pour la « probabilité de <math>B</math> sachant <math>A</math> » (probabilité de <math>B</math> sachant que <math>A</math> est réalisé).</p> <p>Dans le cas où <math>P(A_i) = 0</math>, on conviendra que <math>P(A_i)P_{A_i}(B) = 0</math>.</p> <p>On pourra s'appuyer sur des représentations telles que arbres, graphes, tableaux, diagrammes, etc. Ces représentations n'auront pas valeur de démonstration.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Indépendance de deux événements. Événements (mutuellement) indépendants. Extension à l'indépendance conditionnelle.	On souligne le lien qui existe entre les hypothèses d'indépendance et les choix faits lors de la modélisation du problème étudié.

## Probabilités 2 – Variable aléatoire sur un univers fini

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Variable aléatoire sur un univers fini</b></p> <p>On nomme variable aléatoire sur un univers <math>\Omega</math> (fini) toute application de <math>\Omega</math> dans <math>\mathbf{R}</math>.</p> <p>Pour tout intervalle <math>I</math> de <math>\mathbf{R}</math>, l'ensemble <math>\{\omega \in \Omega : X(\omega) \in I\}</math> est noté <math>(X \in I)</math></p> <p>Exemple des fonctions indicatrices. Notation <math>\mathbb{1}_A</math> où <math>A \subset \Omega</math>.</p> <p>Système complet d'événements <math>(X = x)</math> pour <math>x \in X(\Omega)</math> associé à une variable aléatoire.</p> <p>La loi [de probabilité] d'une variable aléatoire <math>X</math> est l'application <math>f_X</math> de <math>X(\Omega)</math> dans <math>\mathbf{R}</math> associant à tout <math>x</math> de <math>X(\Omega)</math> le nombre <math>P(X = x)</math>.</p> <p>La fonction de répartition de <math>X</math> est l'application <math>F_X</math> de <math>\mathbf{R}</math> dans <math>\mathbf{R}</math> associant à tout <math>t</math> réel le nombre <math>F_X(t) = P(X \leq t)</math>.</p> <p>Si <math>(x_i)_{1 \leq i \leq n}</math> est une famille de réels distincts et <math>(p_i)_{1 \leq i \leq n}</math> une famille de réels positifs vérifiant <math>\sum_{i=1}^n p_i = 1</math> alors il existe une variable aléatoire <math>X</math> sur un univers fini vérifiant, pour tout <math>i</math> compris entre 1 et <math>n</math>, <math>P(X = x_i) = p_i</math>.</p>	<p>Pour une variable aléatoire <math>X</math>, la détermination exacte de l'univers image <math>X(\Omega)</math> n'est pas toujours utile et on pourra se limiter à un ensemble de valeurs pertinentes.</p> <p>Notations <math>(X = x)</math>, <math>[X = x]</math>, <math>\{X = x\}</math>, <math>(X \leq x)</math>, etc.</p> <p>Règles de calcul : intersection, union, complémentaire.</p> <p>On rappellera les représentations graphiques de ces deux fonctions, respectivement en bâtons et en escaliers. Les étudiants doivent savoir déterminer la loi d'une variable aléatoire à partir de sa fonction de répartition. Les propriétés générales des fonctions de répartition (croissance, limites, ...) seront vues en deuxième année.</p> <p>On ne se posera pas la question de l'espace probabilisé.  <math>\Leftrightarrow</math> Algorithme de simulation d'une variable aléatoire sur un univers fini, les <math>(p_i)</math> étant donnés sous la forme d'une liste.</p>
<p><b>b) Indépendance</b></p> <p>Indépendance de deux variables aléatoires.</p> <p>Si <math>X</math> et <math>Y</math> sont deux variables aléatoires indépendantes, alors <math>u(X)</math> et <math>v(Y)</math> sont indépendantes.</p> <p>Généralisation : indépendance (mutuelle) de <math>n</math> variables aléatoires.</p> <p>Propriétés de l'indépendance mutuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> sont indépendantes, toute sous-famille l'est aussi.</li> <li>• Lemme des coalitions : si <math>X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+p}</math> sont des variables aléatoires indépendantes, alors <math>u(X_1, X_2, \dots, X_n)</math> et <math>v(X_{n+1}, \dots, X_{n+p})</math> sont indépendantes.</li> </ul>	<p>L'indépendance conditionnelle de variables aléatoires n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Les résultats sont admis.</p> <p>On observera que cette propriété peut s'étendre à un nombre fini de fonctions s'appliquant à une partition des variables, et en particulier au cas de <math>(u_1(X_1), u_2(X_2), \dots, u_n(X_n))</math>.</p>
<p><b>c) Espérance et variance</b></p> <p>Espérance mathématique <math>E(X)</math> d'une variable aléatoire <math>X</math>, variable aléatoire centrée. <math>E(\mathbb{1}_A) = P(A)</math> et autres propriétés élémentaires de l'espérance.</p> <p>Théorème de transfert : calcul de l'espérance de <math>u(X)</math> à partir de la loi de <math>X</math>.</p>	<p>On démontre que l'espérance est positive (si <math>X</math> est positive) et croissante. La linéarité est énoncée mais la preuve n'est pas exigible.</p> <p>Ce résultat peut être admis.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Moments. Variance <math>V(X)</math> d'une variable aléatoire <math>X</math>. Formule de König-Huygens <math>V(X) = E(X^2) - E(X)^2</math>. Écart-type <math>\sigma(X)</math> d'une variable aléatoire <math>X</math>.  <math>V(aX + b) = a^2V(X)</math>.            Variable centrée réduite.</p> <p>Si <math>X</math> et <math>Y</math> sont indépendantes, espérance de <math>XY</math> et variance de <math>X + Y</math>.</p>	<p>Le résultat sur l'espérance peut être admis; on signalera le cas où les variables aléatoires sont des indicatrices d'événements.            Généralisation au cas de <math>n</math> variables aléatoires indépendantes.</p>
<p><b>d) Lois usuelles</b></p> <p>Lois certaine, uniforme, de Bernoulli, binomiale.</p> <p>Espérance et variance d'une variable de loi certaine, d'une variable de loi de Bernoulli (ou indicatrice), d'une variable de loi binomiale.            Espérance d'une variable de loi uniforme sur <math>\{1, 2, \dots, n\}</math>.</p> <p>Loi de la somme de <math>n</math> variables de Bernoulli indépendantes et de même paramètre.</p>	<p>Les étudiants doivent savoir reconnaître les situations classiques de modélisation par des lois uniformes, de Bernoulli et binomiale. On fait le lien entre la loi de Bernoulli et les variables indicatrices.</p> <p>La formule de la variance d'une variable de loi uniforme est hors programme.</p> <p><math>\Leftrightarrow</math> Simulation de variables aléatoires suivant une loi binomiale.</p>



# Classes préparatoires aux grandes écoles

## Programme de mathématiques de la classe de BCPST 2<sup>nd</sup>e année

# Programme de mathématiques pour la classe BCPST2

## I – Préambule

### Objectifs de la formation

En classe de BCPST2 l'objectif est, dans le cadre d'un approfondissement de la formation, d'amener l'étudiant à intégrer les différentes étapes permettant de résoudre un problème exprimable de façon mathématique. L'enjeu est la reformulation et la résolution de problèmes issus de contextes ou de réalités a priori non mathématiques (provenant souvent d'autres disciplines).

Ainsi sont mises en jeu diverses compétences. Certaines ont déjà été envisagées en première année (BCPST1), et sont consolidées en seconde année :

1. Engager une recherche, définir une stratégie.
2. Modéliser un phénomène à l'aide du langage mathématique.
3. Représenter, changer de registre.
4. Reasonner, démontrer, argumenter...
5. Calculer (symboliquement ou numériquement avec une calculatrice ou un ordinateur), maîtriser le formalisme mathématique.
6. Communiquer à l'écrit et à l'oral.

D'autres constituent des objectifs plus spécifiquement approfondis en seconde année, dans la perspective des concours :

- Identifier un problème sous différents aspects ;
- Mobiliser des connaissances scientifiques pertinentes ;
- Critiquer ou valider un modèle ou un résultat.

### Buts visés

Le programme de mathématiques de BCPST2 approfondit celui de BCPST1, ce qui se traduit par les enjeux suivants.

- Consolider les acquis mathématiques de BCPST1, notamment en matière de calcul et raisonnement. Par souci de clarté, il a été choisi de numéroter de manière compatible les têtes de chapitre des programmes de BCPST1 et de BCPST2.
- Généraliser et compléter les concepts introduits en BCPST1.
- Mettre un accent particulier sur la notion de modélisation, où se confrontent les mathématiques et les autres sciences, notamment dans le cadre des T.I.P.E.

### Équilibre entre compétences

Les différentes compétences sont développées puis évaluées (au cours de l'année puis lors des concours) en veillant à leur équilibre. On prend garde en particulier à ne pas surdévelopper une compétence par rapport à une autre.

Les capacités en calcul par exemple (point 5 ci-dessus), lorsqu'elles sont propres aux mathématiques, restent relativement simples, l'objectif n'étant pas ici d'aboutir à une virtuosité technique. On attend, en la matière, une maîtrise solide des calculs, concepts et théorèmes mathématiques, dans des situations courantes, sans pour autant négliger les autres compétences.

## Contenu

Le programme de seconde année combine des révisions du programme de première année, des approfondissements de certaines parties et des nouveautés.

Les résultats mentionnés dans le programme seront admis ou démontrés selon les choix didactiques faits par le professeur ; pour certains résultats, marqués comme « admis », la présentation d'une démonstration en classe est déconseillée.

L'**analyse** apparaît sous forme de révisions, de nouveautés (séries et intégrales généralisées) ou de compléments (équations différentielles). C'est ainsi que les séries sont introduites comme outil de base des probabilités, tandis que l'étude des intégrales généralisées est insérée dans la mise en place des variables aléatoires à densité ; l'usage de ces outils est limité aux contextes probabilistes et aux démarches de modélisation ; on évitera les développements artificiels ou purement techniques à ce propos.

En **algèbre linéaire**, le passage de  $\mathbf{K}^n$  aux espaces vectoriels généraux permet d'élargir le champ d'action et de donner une vision géométrique des espaces de fonctions. Ce cadre plus systématique permet de donner un sens à l'étude des bases et changements de base qui sont fondamentaux pour aborder les valeurs propres et vecteurs propres des applications linéaires et des matrices ; cette dernière approche se limite à la diagonalisation pour s'en tenir à des phénomènes simples. En vue de nombreuses applications (optimisation, analyse de données), est proposée une présentation du produit scalaire dans  $\mathbf{R}^n$ , du théorème de projection orthogonale et du théorème spectral. La notion de sous-espaces supplémentaires ne figure pas au programme, mais dans bien des situations le théorème de la projection orthogonale fournit une approche similaire tout en permettant un calcul effectif.

L'étude des **probabilités** est donc un enjeu majeur du programme de seconde année. Le but de ce parcours est de mettre en place, de la manière la plus efficace possible, un contexte opérationnel permettant d'utiliser aussi bien des variables aléatoires discrètes prenant une infinité de valeurs (amenant notamment les lois géométrique et de Poisson) que des variables aléatoires à densité (dites « continues »), avec un accent particulier sur les variables gaussiennes. Pour maintenir le programme dans un volume raisonnable, les couples de variables aléatoires ne sont abordés que pour les variables discrètes, ce qui évite d'avoir à aborder les intégrales doubles. Les démarches de simulation de variables aléatoires sont fortement encouragées.

Quelques théorèmes limites en probabilités ainsi que la construction précise d'un **test d'hypothèse** en découlant (comparaison d'une moyenne ou d'une proportion expérimentale à sa valeur théorique) offrent un environnement propice à la simulation numérique et permettent aux étudiants qui en ont le besoin pour leurs TIPE d'aller plus loin sur ces questions.

La variété des modèles ainsi mis en place, combinés avec les différents théorèmes limites proposés, permet d'aborder de nombreuses applications dans les domaines les plus divers ; l'évocation de ces contextes applicatifs est un élément important de la formation et fait partie des buts visés. Comme dans le programme de première année, on signale par un symbole  $\Rightarrow$  certaines situations particulières où un lien avec d'autres enseignements scientifiques est encouragé, permettant de donner corps aux démarches de modélisation et d'application pratique des mathématiques.

En prolongement des programmes de première année en mathématiques et informatique, le programme encourage la **démarche algorithmique** et le recours aux **outils informatiques** ; le maniement de ces outils fait partie intégrante de la formation et a toute sa place dans l'évaluation en cours d'année et lors des concours.

Pour ce qui concerne les **révisions**, la proposition de consolider les compétences acquises en première année par quelques exercices ne doit pas être prise dans un sens restrictif : des approches numériques, pouvant s'appuyer sur le programme d'informatique ou recourir à des outils logiciels ou des calculatrices, peuvent tout aussi bien renforcer la maîtrise des concepts et de leurs applications.

## II – Programme de seconde année

La répartition en chapitres proposée ci-dessous (ainsi que l'agencement des chapitres de révisions) est fournie à titre indicatif et ne constitue pas une progression figée ou obligatoire. Les impératifs pédagogiques liés à la préparation aux concours peuvent justifier une organisation différente, sous réserve de maintenir une structure cohérente.

### Révisions 1 – Suites

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 1 et Analyse 5).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

### Révisions 2 – Fonctions et dérivées

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 2, Analyse 3, Analyse 6, Analyse 7, Analyse 9).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

### Révisions 3 – Intégrales

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 8).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

### Révisions 4 – Equations différentielles

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 4) ⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

### Révisions 5 – Fonctions de deux variables

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 10).

### Analyse 1 – Séries réelles

Contenus	Commentaires
Sommes partielles, convergence d'une série, somme d'une série convergente.	La série est notée $\sum_{n \geq n_0} u_n$ ou plus succinctement $\sum u_n$ . En cas de convergence, la somme de la série est notée $\sum_{n=n_0}^{+\infty} u_n$ .
Combinaison linéaire de séries convergentes.	La terminologie de « famille sommable » n'est pas donnée. La notion de reste d'une série est hors programme.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Théorèmes de convergence pour deux séries à termes positifs <math>u_n</math> et <math>v_n</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• théorème de comparaison si <math>u_n \leq v_n</math> à partir d'un certain rang,</li> <li>• si <math>u_n \sim v_n</math>, alors les séries <math>\sum u_n</math> et <math>\sum v_n</math> sont de même nature.</li> </ul> <p>Convergence et somme de la série géométrique <math>\sum_{n \geq 0} q^n</math> (pour <math> q  &lt; 1</math>) et des séries « dérivées » <math>\sum_{n \geq 1} nq^{n-1}</math> et <math>\sum_{n \geq 2} n(n-1)q^{n-2}</math>.</p> <p>Convergence et somme de la série exponentielle <math>\sum_{n \geq 0} \frac{x^n}{n!}</math>.</p> <p>Convergence de <math>\sum_{n \geq 1} \frac{1}{n^2}</math> et divergence de <math>\sum_{n \geq 1} \frac{1}{n}</math>.</p> <p>Convergence absolue.</p>	<p>Tout autre critère de convergence est hors programme.</p> <p>Les résultats relatifs aux restes et sommes partielles sont hors programme.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>L'étude générale des séries de Riemann est hors programme.</p> <p>La convergence absolue est présentée comme une condition suffisante pour obtenir la convergence de la série.</p> <p>En vue des applications probabilistes, on admet que la valeur de la somme d'une série absolument convergente ne dépend pas de l'ordre d'énumération de ses termes.</p> <p>L'étude de séries semi-convergentes est hors programme.</p>

## Analyse 2 – Intégrales généralisées

Contenus	Commentaires
<p>Convergence d'une intégrale généralisée (ou impropre) d'une fonction continue sur un intervalle <math>I</math> semi-ouvert ou ouvert.</p> <p>Cas d'une fonction définie sur un intervalle et continue sur cet intervalle sauf éventuellement en un nombre fini de points.</p> <p>Propriétés des intégrales convergentes : linéarité, relation de Chasles, positivité, stricte positivité (<math>f</math> positive non nulle), croissance.</p> <p>Adaptation de l'intégration par parties aux intégrales généralisées.</p> <p>Adaptation de la formule de changement de variable pour les intégrales généralisées.</p> <p>Cas des fonctions paires ou impaires.</p> <p>Théorèmes de convergence pour deux fonctions positives <math>f</math> et <math>g</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• théorème par comparaison si <math>f \leq g</math>,</li> <li>• si <math>f(x) \underset{x \rightarrow b}{\sim} g(x)</math>, alors les intégrales généralisées en <math>b</math> <math>\int_a^b f</math> et <math>\int_a^b g</math> sont de même nature.</li> </ul>	<p>La convergence est traduite en termes de limites portant sur une primitive.</p> <p>La terminologie de « fonction intégrable » n'est pas donnée.</p> <p>Les notations <math>\int_I f</math>, <math>\int_I f(t)dt</math>, <math>\int_a^b f</math>, <math>\int_a^b f(t)dt</math> pourront, selon le contexte, désigner l'intégrale généralisée ou sa valeur.</p> <p>Cas particulier d'une fonction prolongeable par continuité en un point.</p> <p>La démonstration de la stricte positivité n'est pas exigible.</p> <p>On souligne la nécessité de confirmer la convergence de tous les termes apparaissant dans une telle formule.</p> <p>Si la fonction <math>\varphi</math> est de classe <math>\mathcal{C}^1</math> et strictement monotone sur un intervalle d'extrémités <math>a</math> et <math>b</math> ayant des limites <math>\alpha = \lim_a \varphi</math> et <math>\beta = \lim_b \varphi</math> et si <math>f</math> est continue sur l'intervalle d'extrémités <math>\alpha</math> et <math>\beta</math>, alors les intégrales <math>\int_a^\beta f(x)dx</math> et <math>\int_a^b f(\varphi(t))\varphi'(t)dt</math> sont de même nature, et ont la même valeur lorsqu'elles convergent.</p> <p>Tout autre critère de convergence est hors programme.</p> <p>Tout résultat sur la nature des intégrales de Riemann devra être démontré.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Convergence absolue d'une intégrale généralisée.  L'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2/2} dx$ converge et vaut $\sqrt{2\pi}$ .	La convergence absolue est présentée comme une condition suffisante pour obtenir la convergence de l'intégrale. Les intégrales semi-convergentes sont hors programme. La valeur de cette intégrale est un résultat admis.

## Analyse 3 – Équations différentielles scalaires autonome d'ordre 1

Contenus	Commentaires
Exemples de résolution d'équations différentielles autonomes du type $y'(t) = F(y(t))$ , $F$ étant une fonction continue sur un intervalle et à valeurs réelles.	Aucune théorie générale ne doit être faite. Toute étude devra être entièrement guidée. $\Rightarrow$ On se limite ici à quelques exemples issus de la biologie des populations ou de la cinétique chimique (modèles malthusien, logistique, de Gompertz). $\Rightarrow$ Lien avec l'informatique : programmation de la méthode d'Euler. Dans un énoncé, la méthode d'Euler sera rappelée.

## Révisions 6 – Nombres complexes

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Outils 3, Outils 4).

## Révisions 7 – Systèmes linéaires et matrices

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Algèbre linéaire 1 et 2).

## Algèbre – Polynômes

Contenus	Commentaires
<b>a) Polynômes, règles de calcul.</b> Retour sur les polynômes réels : notation $X$ pour l'application $x \mapsto x$ et réécriture d'un polynôme avec cette notation. On introduit les polynômes à coefficients dans $\mathbf{C}$ . Notation $X$ pour l'application $x \mapsto x$ . Les opérations usuelles (combinaison linéaire, produit, composée) sur les polynômes fournissent des polynômes. Unicité de l'écriture des polynômes : un polynôme est nul si, et seulement si, tous ses coefficients sont nuls. Coefficient dominant et degré d'un polynôme. Degré d'une somme, d'un produit de polynômes. Notations $\mathbf{R}[X]$ , $\mathbf{C}[X]$ , $\mathbf{R}_n[X]$ , $\mathbf{C}_n[X]$ .	On remarque que les règles de calcul avec $X$ prolongent les règles de calculs dans $\mathbf{R}$ ou $\mathbf{C}$ .  En conséquence, deux polynômes sont égaux si, et seulement si, ils ont les mêmes coefficients. On convient que le polynôme nul est de degré $-\infty$ .
<b>b) Racines et factorisation.</b> Définition d'une racine $\alpha$ d'un polynôme $P : P(\alpha) = 0$ . Un nombre réel ou complexe $\alpha$ est racine d'un polynôme $P$ si, et seulement si, il existe un polynôme $Q$ tel que $P = (X - \alpha)Q$ . Généralisation à plusieurs racines distinctes. Le nombre de racines distinctes d'un polynôme non nul est majoré par son degré.	La division euclidienne des polynômes est hors programme.

Contenus (suite)	Commentaires
Ordre de multiplicité d'une racine.  Cas des polynômes réels : si $\alpha$ est racine, $\bar{\alpha}$ est aussi racine. Théorème de d'Alembert-Gauss. Factorisation dans $\mathbf{C}[X]$ .	La caractérisation de la multiplicité d'une racine à l'aide des polynômes dérivés n'est pas un attendu du programme.  Ce théorème est admis. La factorisation dans $\mathbf{R}[X]$ est hors programme.

## Algèbre linéaire 1 – Espaces vectoriels

Ce chapitre reprend les concepts présentés en première année dans un cadre limité ( $\mathbf{K}^n$ ) et les adapte brièvement à d'autres espaces, de dimension finie ou non.

La notion de somme de sous-espaces vectoriels n'est pas au programme.

On travaille uniquement dans des  $\mathbf{K}$ -espaces vectoriels,  $\mathbf{K}$  désignant  $\mathbf{R}$  ou bien  $\mathbf{C}$ . Lorsqu'un espace est un  $\mathbf{C}$ -espace vectoriel, le considérer comme un  $\mathbf{R}$ -espace vectoriel n'est pas un attendu du programme. Il n'est pas dans l'esprit du programme de rentrer dans des détails techniques comme parler de  $\mathbf{R}$ -base,  $\mathbf{C}$ -base,  $\mathbf{R}$ -dimension,  $\mathbf{C}$ -dimension.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Structure vectorielle</b> Structure d'espace vectoriel. Règles de calcul.</p> <p>Combinaison linéaire d'une famille finie de vecteurs. Sous-espaces vectoriels. Intersection d'un nombre fini de sous-espaces vectoriels. Sous-espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs.</p> <p>Famille génératrice finie d'un espace vectoriel (sous réserve d'existence). Famille libre finie. Famille liée finie. Exemple fondamental de famille libre : toute famille finie de polynômes non nuls de degrés deux à deux distincts est libre. Base finie d'un espace vectoriel (sous réserve d'existence). Coordonnées d'un vecteur dans une base. Matrice des coordonnées d'une famille finie de vecteurs dans une base. Bases canoniques de <math>\mathbf{K}^n</math> et <math>\mathbf{K}_n[X]</math>.</p>	<p>On met plus particulièrement en valeur les espaces vectoriels suivants : <math>\mathbf{K}^n</math>, <math>\mathcal{M}_{n,p}(\mathbf{K})</math>, l'ensemble des applications définies sur un intervalle <math>I</math> à valeurs dans <math>\mathbf{K}</math>, <math>\mathbf{K}[X]</math>, <math>\mathbf{K}_n[X]</math>. L'étude d'espaces de suites n'est pas un attendu du programme.</p> <p>On introduit la notation <math>\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)</math>.</p> <p>D'autres exemples peuvent être proposés, mais les attendus du programme se limitent aux cas mentionnés.</p>
<p><b>b) Dimension</b> On dit que <math>E</math> est de dimension finie s'il possède une famille génératrice finie. De toute famille génératrice finie d'un espace <math>E</math> non réduit au vecteur nul on peut extraire une base. Toutes les bases d'un espace vectoriel de dimension finie non réduit au vecteur nul <math>E</math> ont le même cardinal ; ce nombre commun est appelé dimension de <math>E</math>. Par convention, l'espace vectoriel réduit au vecteur nul est de dimension 0. Dans un espace vectoriel de dimension <math>n \geq 1</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute famille libre peut se compléter en une base.</li> </ul>	

Contenus (suite)	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute famille libre a au plus <math>n</math> éléments.</li> <li>• Une famille libre ayant <math>n</math> éléments est une base.</li> <li>• Toute famille génératrice a au moins <math>n</math> éléments.</li> <li>• Une famille génératrice ayant <math>n</math> éléments est une base.</li> </ul> <p>Si <math>F</math> est un sous-espace vectoriel de <math>E</math>, alors <math>F</math> est de dimension finie et <math>\dim F \leq \dim E</math>. Si les deux dimensions sont égales, alors <math>F = E</math>.</p> <p>Rang d'une famille finie de vecteurs.</p>	<p>Compte tenu des objectifs pédagogiques, la plupart de ces énoncés doivent être admis, mais on peut montrer comment certains de ces résultats peuvent en impliquer d'autres.</p> <p>Ce rang peut se calculer comme le rang de la matrice des coordonnées de la famille dans n'importe quelle base.</p>

## Algèbre linéaire 2 – Applications linéaires et matrices

Le passage aux espaces vectoriels quelconques pousse à redéfinir les notions liées aux applications linéaires. Il convient de faire cette adaptation avec une certaine brièveté afin de garder tout le temps requis pour traiter des exemples.

On travaille dans  $\mathbf{K} = \mathbf{R}$  ou  $\mathbf{C}$ .

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Applications linéaires</b></p> <p>Application linéaire, endomorphisme, isomorphisme. Espaces isomorphes.</p> <p>Opérations sur les applications linéaires : addition, multiplication par un scalaire, composition, réciproque. Propriétés de ces opérations.</p> <p>Noyau. Lien avec l'injectivité.</p> <p>Image. Lien avec la surjectivité.</p>	<p>On introduit les notations <math>\mathcal{L}(E, F)</math> et <math>\mathcal{L}(E)</math>, mais leur étude n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Notation <math>f^n</math> pour <math>n \in \mathbf{N}</math>.</p> <p>On montre que le noyau est un sous-espace vectoriel de l'espace de départ.</p> <p>On montre que l'image est un sous-espace vectoriel de l'espace d'arrivée.</p>
<p><b>b) Cas de la dimension finie</b></p> <p>Détermination d'une application linéaire par l'image d'une base.</p> <p>Une application linéaire est un isomorphisme si, et seulement si, l'image d'une base est une base.</p> <p>Rang d'une application linéaire.</p> <p>Théorème du rang.</p> <p>Pour une application linéaire entre deux espaces de même dimension finie, il y a équivalence entre l'injectivité, la surjectivité et la bijectivité.</p>	<p>Tout espace de dimension <math>n</math> est isomorphe à <math>\mathbf{K}^n</math>.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>On soulignera, à travers un exemple, que ce n'est pas le cas en dimension infinie. Toutefois, aucun exemple ne sera exigible des étudiants.</p>
<p><b>c) Matrices et applications linéaires</b></p> <p>Matrice d'une application linéaire d'un espace vectoriel de dimension finie dans un espace vectoriel de dimension finie, une base ayant été choisie dans chacun d'eux.</p> <p>Matrice de la somme de deux applications linéaires, du produit par un scalaire d'une application linéaire, de la composée de deux applications linéaires, de l'application réciproque.</p> <p>Définitions du noyau et de l'image d'une matrice. Lien entre noyau et image d'une matrice et d'une application linéaire représentée par cette matrice dans des bases.</p>	<p>On montre qu'un endomorphisme est bijectif si, et seulement si, sa matrice, dans une base quelconque, est inversible, et qu'il suffit pour cela de disposer d'une matrice inverse à gauche ou à droite.</p> <p>Toute identification entre vecteur de <math>\mathbf{K}^n</math> et sa représentation matricielle dans une base, même la base canonique, est à éviter.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p><b>d) Changement de base</b>            Changement de base. Matrice de passage.            Action d'un changement de base sur les coordonnées d'un vecteur.            Action d'un changement de base sur la matrice d'un endomorphisme.            Matrices semblables.</p>	<p>On met en valeur l'intérêt des matrices semblables pour le calcul des puissances. On ne parlera pas de matrices équivalentes.</p>

## Algèbre linéaire 3 – Valeurs propres, vecteurs propres

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Éléments propres</b>            Valeurs propres, vecteurs propres, sous-espaces propres d'un endomorphisme.            Valeurs propres, vecteurs propres, sous-espaces propres d'une matrice carrée.              Les valeurs propres d'une matrice triangulaire sont les éléments diagonaux de cette matrice.</p>	<p>On appelle spectre de l'endomorphisme <math>f</math> (respectivement de la matrice <math>A</math>) l'ensemble des valeurs propres de <math>f</math> (respectivement de <math>A</math>).            En dimension finie, on fait le lien entre les éléments propres d'un endomorphisme et ceux d'une matrice qui le représente dans une base.</p>
<p><b>b) Diagonalisation</b>            Une famille finie de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.            Une famille finie obtenue par juxtaposition de bases de sous-espaces propres associés à des valeurs propres distinctes est libre.            En dimension finie, endomorphisme diagonalisable. Matrice diagonalisable.            Un endomorphisme en dimension <math>n</math> ou une matrice carrée <math>n \times n</math> est diagonalisable si, et seulement si, la somme des dimensions des sous-espaces propres est égale à <math>n</math>.            Un endomorphisme en dimension <math>n</math> ou une matrice carrée <math>n \times n</math> ayant <math>n</math> valeurs propres distinctes est diagonalisable.</p>	<p>Un endomorphisme en dimension <math>n</math> ou une matrice carrée <math>n \times n</math> admet au plus <math>n</math> valeurs propres deux à deux distinctes et la somme des dimensions des sous-espaces propres est inférieure ou égale à <math>n</math>.              On fait observer que les sous-espaces propres sont de dimension 1.            La notion de polynôme annulateur est hors programme.</p>

## Révisions 7 – Géométrie

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Géométrie 1).

## Géométrie – Produit scalaire dans $\mathbb{R}^n$

Ce chapitre propose une extension modeste des notions de géométrie euclidienne à l'espace euclidien de dimension  $n$ , avec la notion de projection orthogonale sur un sous-espace et une application aux statistiques.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Produit scalaire dans <math>\mathbb{R}^n</math></b>            Produit scalaire usuel dans <math>\mathbb{R}^n</math>. Écriture matricielle.            Bilinéarité.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Norme euclidienne. Inégalité de Cauchy-Schwarz et inégalité triangulaire. Cas d'égalité.</p> <p>Vecteurs orthogonaux.</p> <p>Une famille de vecteurs non nuls deux à deux orthogonaux est libre.</p> <p>Théorème de Pythagore.</p> <p>Bases orthonormales de l'espace <math>\mathbf{R}^n</math> ou d'un sous-espace de <math>\mathbf{R}^n</math>.</p>	<p>Le recours à l'inégalité de Cauchy-Schwarz devra être précisé.</p> <p>Définition de deux matrices colonnes orthogonales.</p> <p>On souligne le fait que le produit scalaire et la norme se calculent de la même manière dans toutes les bases orthonormales.</p> <p>Les algorithmes d'orthonormalisation ne sont pas au programme.</p>
<p><b>b) Projection orthogonale</b></p> <p>Orthogonal <math>F^\perp</math> d'un sous-espace vectoriel <math>F</math> de <math>\mathbf{R}^n</math>.</p> <p>L'ensemble <math>F^\perp</math> est un sous-espace vectoriel de <math>\mathbf{R}^n</math> et, pour tout <math>x \in \mathbf{R}^n</math>, il existe un unique couple <math>(x_F, x_{F^\perp}) \in F \times F^\perp</math> vérifiant <math>x = x_F + x_{F^\perp}</math>.</p> <p>On appelle projection orthogonale sur le sous-espace <math>F</math> de <math>\mathbf{R}^n</math> l'application <math>p</math> qui à tout <math>x \in \mathbf{R}^n</math> associe <math>x_F</math>.</p> <p>La projection orthogonale sur le sous-espace <math>F</math> est l'endomorphisme <math>p</math> de <math>\mathbf{R}^n</math> vérifiant <math>p \circ p = p</math>, <math>\text{Im}(p) = F</math> et <math>\text{Ker}(p) = F^\perp</math>.</p> <p>Relation <math>\dim F + \dim F^\perp = n</math>.</p> <p>Distance entre deux vecteurs de <math>\mathbf{R}^n</math>.</p> <p>Définition de la distance d'un vecteur à une partie non vide de <math>\mathbf{R}^n</math>. Cas de la distance d'un vecteur à un sous-espace de <math>\mathbf{R}^n</math>.</p> <p>Interprétation en termes de projection orthogonale.</p>	<p>On rappelle que les notions générales de sommes de sous-espaces vectoriels et de projections ne sont pas au programme.</p> <p>On admet qu'il existe une base orthonormale du sous-espace <math>F</math> dès que <math>F</math> n'est pas réduit au vecteur nul.</p> <p>Écriture du projeté orthogonal d'un vecteur de <math>\mathbf{R}^n</math> dans une base orthonormale de <math>F</math>.</p> <p>Interprétation de l'ajustement affine par la méthode des moindres carrés en termes de projection sur un sous-espace de dimension 2.</p> <p>La démonstration n'est pas exigible. Les coefficients de la droite de meilleure approximation au sens des moindres carrés devront être rappelés.</p>
<p><b>c) Théorème spectral</b></p> <p>Deux vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes d'une matrice symétrique réelle sont orthogonaux.</p> <p>Toute matrice symétrique réelle est diagonalisable en base orthonormale.</p>	<p>La démonstration de ce thèorème est hors programme. On fera remarquer qu'il existe aussi des bases de diagonalisation non orthonormales.</p> <p>Les étudiants devront être guidés pour la construction effective d'une base orthonormale de vecteurs propres.</p>

## Probabilités 1 – Concepts de base des probabilités et des variables aléatoires

Ce chapitre étend le cadre des probabilités qui avait été posé en première année (Probabilités 1) pour aborder une situation plus générale, se prêtant à la définition des variables aléatoires discrètes ou à densité.

Les séries ont été introduites comme un outil pour donner tout leur sens aux probabilités et variables aléatoires discrètes. En dehors de questions probabilistes, les séries ne doivent être utilisées que de manière exceptionnelle et en lien avec des démarches de modélisation.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Compléments ensemblistes et notion de probabilité</b></p> <p>Définition de <math>\bigcap_{n=0}^{+\infty} A_n</math> et <math>\bigcup_{n=0}^{+\infty} A_n</math>.</p> <p>Notion de tribu.</p> <p>Définition d'une probabilité sur <math>(\Omega, \mathcal{F})</math>.</p> <p>Définition d'un événement négligeable, d'un événement presque sûr.</p> <p>Révisions et extensions à ce nouveau cadre des propriétés des probabilités et des définitions vues en première année, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une suite d'événements <math>(A_n)</math> est un système complet d'événements si les <math>A_n</math> sont deux à deux incompatibles et si leur réunion est égale à <math>\Omega</math>.</li> <li>• Formule des probabilités totales : si <math>(A_n)</math> est un système complet d'événements, alors, pour tout événement <math>B</math>, la série <math>\sum_{n \geq 0} P(A_n \cap B)</math> converge et <math>P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n \cap B)</math>.</li> <li>• Indépendance de deux événements. Indépendance (mutuelle) de <math>n</math> événements, d'une suite d'événements.</li> </ul>	<p>On convient de nommer événements les éléments d'une tribu.</p> <p>Une tribu <math>\mathcal{F}</math> (ou <math>\sigma</math>-algèbre) sur <math>\Omega</math> est une partie de <math>\mathcal{P}(\Omega)</math> contenant <math>\Omega</math>, stable par passage au complémentaire et telle que, pour toute suite <math>(B_n)</math> d'événements, la réunion des <math>B_n</math> est un événement.</p> <p>Aucune question sur les tribus ne doit être proposée dans une épreuve de mathématiques.</p> <p>On met en valeur l'axiome de <math>\sigma</math>-additivité <math>P\left(\bigcup_{n=0}^{+\infty} B_n\right) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B_n)</math> pour des suites <math>(B_n)</math> d'événements deux à deux incompatibles, et on fait remarquer que la série <math>\sum_{n \geq 0} P(B_n)</math> converge.</p> <p>On distingue l'événement impossible (resp. certain) des événements négligeables (resp. presque sûrs).</p> <p>Pour une telle suite, on a <math>\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = 1</math>.</p> <p>Cette formule reste valable dans le cas d'une suite <math>(A_n)</math> d'événements deux à deux incompatibles et tels que <math>\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = 1</math>; on dira dans ce cas que le système est quasi-complet.</p> <p>Interprétation en termes de probabilités conditionnelles, avec la convention suivante : si <math>P(A_n) = 0</math>, alors on pose <math>P(A_n)P_{A_n}(B) = 0</math>.</p>
<p><b>b) Variables aléatoires réelles</b></p> <p>On nomme variable aléatoire réelle sur <math>(\Omega, \mathcal{F})</math> toute application <math>X</math> de <math>\Omega</math> dans <math>\mathbf{R}</math> telle que, pour tout <math>a \in \mathbf{R}</math>, l'ensemble <math>\{\omega \in \Omega : X(\omega) \leq a\}</math>, noté <math>(X \leq a)</math>, soit un événement.</p> <p>Si <math>I</math> est un intervalle de <math>\mathbf{R}</math>, alors <math>(X \in I) = \{\omega \in \Omega : X(\omega) \in I\}</math> est un événement.</p> <p>Fonction de répartition : <math>F_X : t \mapsto P(X \leq t)</math>.</p> <p>Croissance, limites en <math>\pm\infty</math>.</p> <p>Deux variables <math>X</math> et <math>Y</math> sont dites indépendantes si pour tous intervalles <math>I</math> et <math>J</math>, <math>P(X \in I \cap Y \in J) = P(X \in I) P(Y \in J)</math>.</p> <p>Généralisation au cas de <math>n</math> variables aléatoires, puis d'une suite de variables aléatoires.</p>	<p>Aucune vérification du fait qu'une fonction est une variable aléatoire ne sera demandée dans une épreuve de mathématiques.</p> <p>Résultat admis.</p>

## Probabilités 2 – Variables aléatoires réelles discrètes

L'ensemble de ce chapitre donne l'occasion de revoir, par le biais d'exercices, les lois de probabilités finies présentées dans le programme de première année (Probabilités 2).

Contenus	Commentaires
<b>a) Variables aléatoires réelles discrètes</b>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Une variable aléatoire réelle est dite discrète si l'ensemble <math>X(\Omega)</math> de ses valeurs est inclus dans un sous-ensemble <math>\mathcal{N}</math> de <math>\mathbf{R}</math> indexé par une partie de <math>\mathbf{N}</math>.</p> <p>Loi de probabilité et fonction de répartition d'une variable aléatoire discrète.</p> <p>Si <math>(x_i)_{i \in \mathbf{N}}</math> est une suite de réels deux à deux distincts et <math>(p_i)_{i \in \mathbf{N}}</math> une suite de réels positifs tels que <math>\sum_{i \geq 0} p_i</math> converge et a pour somme 1, alors il existe une variable aléatoire réelle discrète <math>X</math> vérifiant <math>P(X = x_i) = p_i</math> pour tout entier naturel <math>i</math>.</p>	<p>On pourra utiliser le terme dénombrable mais ce terme n'est pas exigible.</p> <p>On met en valeur le système complet d'événements formé des événements <math>(X = x)</math> pour <math>x \in \mathcal{N}</math>. On souligne la validité de la formule des probabilités totales obtenue.</p> <p>On décrit les représentations graphiques de ces deux fonctions. Les étudiants doivent savoir déterminer la loi d'une variable aléatoire à partir de sa fonction de répartition.</p> <p>On tolère qu'une variable aléatoire issue d'une expérience aléatoire puisse ne pas être définie sur un événement de probabilité nulle.</p> <p><math>\Rightarrow</math> En lien avec l'informatique : simulation d'une variable aléatoire discrète dont la loi est imposée, construite à partir d'une variable aléatoire uniforme.</p>
<p><b>b) Indépendance</b></p> <p>Deux variables aléatoires discrètes <math>X</math> et <math>Y</math> sont indépendantes si, et seulement si, <math>P(X = x, Y = y) = P(X = x)P(Y = y)</math> pour tout <math>(x, y) \in X(\Omega) \times Y(\Omega)</math>.</p> <p>Généralisation : indépendance (mutuelle) de <math>n</math> variables aléatoires ; d'une suite de variables aléatoires.</p> <p>Propriétés de l'indépendance mutuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> sont indépendantes, toute sous-famille l'est aussi.</li> <li>• Lemme des coalitions : si <math>X_1, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+p}</math> sont indépendantes, alors <math>u(X_1, \dots, X_n)</math> et <math>v(X_{n+1}, \dots, X_{n+p})</math> sont indépendantes.</li> </ul>	<p>On observera que cette propriété peut s'étendre à un nombre fini de fonctions s'appliquant à une partition des variables, et en particulier au cas de <math>(u_1(X_1), u_2(X_2), \dots, u_n(X_n))</math>.</p>
<p><b>c) Espérance et variance</b></p> <p>Espérance. Propriétés (linéarité, positivité, croissance). Théorème de transfert.</p> <p>Généralisation des propriétés et des définitions vues en première année, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inégalité de Markov. Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.</li> <li>• Variance et moments d'une variable aléatoire.</li> <li>• Écart-type <math>\sigma(X)</math> d'une variable aléatoire <math>X</math>.</li> <li>• Formule de König-Huygens <math>V(X) = E(X^2) - E(X)^2</math>.</li> <li>• Variance de <math>aX + b</math>. Notion de variable centrée réduite.</li> <li>• Si <math>X</math> est une variable aléatoire admettant une variance non nulle, <math>X^* = \frac{X - E(X)}{\sigma(X)}</math> est une variable centrée réduite.</li> <li>• Si <math>X</math> et <math>Y</math> sont indépendantes, espérance de <math>XY</math> et variance de <math>X + Y</math>.</li> </ul>	<p>La linéarité de l'espérance est admise. Ce résultat peut être admis.</p> <p><math>X^*</math> est appelée variable centrée réduite associée à <math>X</math>.</p> <p>Résultat sur l'espérance admis. Généralisation au cas de <math>n</math> variables aléatoires indépendantes.</p>
<p><b>d) Lois usuelles discrètes</b></p> <p>Loi de Poisson. Espérance, variance.</p> <p>Loi géométrique. Espérance, variance.</p> <p>Propriété d'invariance temporelle ou d'absence de mémoire de la loi géométrique.</p>	<p>On présente la loi géométrique comme loi du nombre d'épreuves nécessaires pour obtenir le premier succès dans une suite illimitée d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre.</p> <p><math>\Rightarrow</math> Exemples de situations expérimentales modélisées par une loi géométrique.</p>

## Probabilités 3 – Couples de variables aléatoires discrètes

Ce chapitre permet, par le maniement de sommes de séries, d'appréhender les phénomènes liés aux couples de variables aléatoires : lois conjointes, lois marginales, indépendance. Cependant, le théorème de transfert est énoncé dans le seul cas des couples de variables aléatoires discrètes finies, et les séries doubles ne sont au programme.

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Couples de variables aléatoires réelles discrètes</b></p> <p>Couple <math>(X, Y)</math> de deux variables aléatoires discrètes. Loi conjointe.</p> <p>Lois marginales.</p> <p>Lois conditionnelles.</p>	<p>L'événement <math>((X = x) \cap (Y = y))</math> est également noté <math>(X = x, Y = y)</math>.</p> <p>L'espérance conditionnelle n'est pas un attendu du programme.</p>
<p><b>b) Exemples de variable aléatoire de la forme <math>u(X, Y)</math></b></p> <p>Sur des exemples simples, recherche de la loi de <math>u(X, Y)</math>, le couple <math>(X, Y)</math> ayant une loi conjointe connue.</p> <p>Cas particulier de la somme de deux variables discrètes à valeurs dans <math>\mathbf{N}</math>.</p> <p>Loi de la somme de deux variables indépendantes suivant des lois de Poisson.</p> <p>Théorème de transfert : espérance de <math>u(X, Y)</math> à partir de la loi de <math>(X, Y)</math> quand <math>X</math> et <math>Y</math> sont des variables aléatoires discrètes finies.</p>	<p>On s'intéressera en particulier au maximum et au minimum de deux ou de <math>n</math> variables aléatoires indépendantes.</p> <p>Les deux variables ne sont pas nécessairement indépendantes.</p> <p>Généralisation au cas de <math>n</math> variables.</p> <p>Ce résultat peut être admis.</p>
<p><b>c) Covariance</b></p> <p>Covariance, formule de König-Huygens <math>\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)</math> et calcul effectif quand <math>X</math> et <math>Y</math> sont discrètes finies.</p> <p>Variance de <math>X + Y</math>.</p>	<p>Le calcul effectif de <math>E(XY)</math> au moyen d'une série double n'est pas au programme.</p> <p>On remarquera qu'en cas d'indépendance <math>\text{Cov}(X, Y) = 0</math>, mais que la réciproque est fautive.</p>

## Probabilités 4 – Variables aléatoires à densité

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Variables aléatoires admettant une densité</b></p> <p>On appelle densité de probabilité une fonction <math>f</math> définie sur <math>\mathbf{R}</math>, positive, dont l'intégrale généralisée sur <math>\mathbf{R}</math> converge et vaut 1.</p> <p>On dit qu'une variable aléatoire réelle <math>X</math> est à densité s'il existe une densité de probabilité <math>f</math> telle que, pour tout <math>x \in \mathbf{R}</math> : <math>F_X(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt</math>.</p> <p><math>F_X</math> est dérivable en tout point de continuité <math>x</math> de <math>f</math> et <math>F'_X(x) = f(x)</math></p> <p>Si <math>f</math> est une densité de probabilité, alors il existe une variable aléatoire <math>X</math> dont <math>f</math> est une densité.</p>	<p>Dans le cadre du programme, l'intégrale généralisée n'est définie que pour des fonctions continues sauf éventuellement en un nombre fini de points.</p> <p>Une telle fonction, qui n'est pas unique, est appelée densité de <math>X</math>.</p> <p>Ce résultat peut être admis.</p> <p>Dans ce contexte, donner la loi d'une variable aléatoire <math>X</math>, c'est justifier que <math>X</math> admet une densité et en donner une.</p> <p>Résultat admis.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p><math>X</math> admet une densité si, et seulement si, sa fonction de répartition <math>F_X</math> est continue sur <math>\mathbf{R}</math> et de classe <math>\mathcal{C}^1</math> sur <math>\mathbf{R}</math> sauf éventuellement en un nombre fini de points.</p>	<p>Ce résultat peut être admis. On insistera sur les représentations graphiques de la fonction de densité et de la fonction de répartition, en faisant le lien avec les histogrammes de variables aléatoires finies. Les étudiants doivent savoir déterminer la loi d'une variable aléatoire à partir de sa fonction de répartition.</p> <p>Sur des exemples simples, recherche de la loi de <math>u(X)</math>, <math>X</math> ayant une densité donnée.</p>
<p><b>b) Indépendance</b> Propriétés de l'indépendance mutuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> sont indépendantes, toute sous-famille l'est aussi.</li> <li>• Lemme des coalitions : si <math>X_1, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+p}</math> sont indépendantes, alors <math>u(X_1, \dots, X_n)</math> et <math>v(X_{n+1}, \dots, X_{n+p})</math> sont indépendantes.</li> </ul>	<p>On observera que cette propriété peut s'étendre à un nombre fini de fonctions, et en particulier au cas de <math>(u_1(X_1), u_2(X_2), \dots, u_n(X_n))</math>.</p> <p>Exemples de recherche de la loi du minimum et du maximum de deux ou de <math>n</math> variables aléatoires indépendantes.</p>
<p><b>c) Espérance</b> Espérance. Propriétés. Notion de variable centrée.</p> <p>Théorème de transfert : si <math>X</math> est une variable aléatoire à densité et <math>u</math> est une fonction définie sur un intervalle <math>I</math> contenant <math>X(\Omega)</math>, continue sauf éventuellement en un nombre fini de points, alors <math>u(X)</math> admet une espérance si, et seulement si, <math>\int_I u(x)f(x) dx</math> est absolument convergente. Le cas échéant, <math>E(u(X)) = \int_I u(x)f(x) dx</math>.</p> <p>Propriétés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inégalité de Markov. Inégalité de Bienaymé-Tchebychev.</li> <li>• Variance et moments.</li> <li>• Écart-type <math>\sigma(X)</math> d'une variable aléatoire <math>X</math>.</li> <li>• Formule de König-Huygens <math>V(X) = E(X^2) - E(X)^2</math>.</li> <li>• Variance de <math>aX + b</math>. Notion de variable centrée réduite.</li> <li>• Si <math>X</math> est une variable aléatoire admettant une variance non nulle, <math>X^* = \frac{X - E(X)}{\sigma(X)}</math> est une variable centrée réduite.</li> <li>• Si <math>X</math> et <math>Y</math> sont indépendantes, espérance de <math>XY</math> et variance de <math>X + Y</math>.</li> </ul>	<p>La linéarité de l'espérance est admise. Par extension, on pourra appliquer la linéarité de l'espérance à des variables aléatoires, qu'elles soient discrètes ou à densité, sans savoir si leur résultante est discrète ou à densité.</p> <p>Résultat admis. On pourra appliquer ce théorème sans savoir si <math>u(X)</math> est une variable aléatoire discrète ou à densité.</p> <p>On pourra appliquer ce théorème dès lors que la variable aléatoire admet une variance, sans savoir si elle est discrète ou à densité.</p> <p><math>X^*</math> est appelée variable centrée réduite associée à <math>X</math>.</p> <p>Résultat sur l'espérance admis. Par extension, on pourra appliquer ces formules à des variables aléatoires, qu'elles soient discrètes ou à densité, sans savoir si leurs résultantes <math>XY</math> et <math>X + Y</math> sont discrètes ou à densité.</p> <p>Généralisation au cas de <math>n</math> variables aléatoires indépendantes.</p>
<p><b>d) Lois usuelles</b> Loi uniforme : densité, fonction de répartition, espérance, variance.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Loi exponentielle : densité, fonction de répartition, espérance, variance. Propriété d'invariance temporelle ou d'absence de mémoire : <math>P(X \geq s + t   X \geq s) = P(X \geq t)</math> et on donne quelques exemples d'expériences donnant du sens à cette propriété.</p> <p>Loi normale (ou gaussienne) centrée et réduite : densité, espérance et variance.</p> <p>Loi normale de paramètres <math>\mu</math> et <math>\sigma^2</math> : densité, espérance et variance.</p> <p>Si <math>X</math> suit une loi normale, alors <math>aX + b</math> aussi si <math>a \neq 0</math>.</p>	<p><math>\Leftrightarrow</math> Une variable aléatoire de loi exponentielle peut être simulée à partir d'une variable aléatoire suivant la loi uniforme sur <math>]0, 1[</math>.</p> <p><math>\Leftrightarrow</math> On obtient les valeurs de la fonction de répartition (notée souvent <math>\Phi</math>) et de sa réciproque au moyen de la calculatrice ou d'une bibliothèque associée à un langage de programmation.</p> <p>Un échantillon de valeurs utiles devra être rappelé.</p> <p><math>\Leftrightarrow</math> Une variable aléatoire de loi normale peut être simulée à partir d'une variable aléatoire suivant la loi uniforme sur <math>]0, 1[</math>.</p> <p>Pour une variable de loi <math>\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)</math>, on se ramènera le plus souvent à la variable centrée réduite associée.</p>
<p><b>e) Sommes de variables aléatoires à densité indépendantes</b></p> <p>Loi de la somme de deux variables indépendantes à densité.</p> <p>Somme de deux variables aléatoires normales indépendantes.</p>	<p>Le résultat est admis.</p> <p>La formule du produit de convolution devra être rappelée en cas de besoin.</p> <p>La démonstration de la convergence de l'intégrale, le cas échéant, n'est pas attendue des étudiants.</p> <p>Le calcul montrant la normalité de la somme n'est pas un attendu du programme.</p> <p>On généralise le résultat au cas de <math>n</math> variables gaussiennes indépendantes.</p>

## Probabilités 5 – Théorèmes limites

Contenus	Commentaires
<p><b>a) Loi faible des grands nombres</b></p> <p>La moyenne empirique d'un <math>n</math>-uplet de variables aléatoires <math>(X_1, \dots, X_n)</math>, notée <math>M_n</math>, est définie par <math>M_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i</math>.</p> <p>Loi faible des grands nombres pour des variables aléatoires mutuellement indépendantes.</p>	<p>La définition générale de la convergence en probabilité n'est pas un objectif du programme.</p>
<p><b>b) Convergence en loi</b></p> <p>Définition de la convergence en loi d'une suite de variables aléatoires <math>(X_n)</math> vers une variable aléatoire <math>X</math>.</p> <p>Cas particulier où les <math>X_n</math> prennent leurs valeurs dans <math>\mathbf{N}</math>.</p> <p>Convergence en loi d'une suite de variables aléatoires de lois binomiales vers une variable aléatoire de loi de Poisson.</p> <p>Théorème central limite (première forme) : si <math>(X_n)_{n \geq 1}</math> est une suite de variables aléatoires indépendantes de même loi, admettant une espérance <math>\mu</math> et une variance <math>\sigma^2</math> non nulle, alors <math>(M_n^*)_{n \geq 1}</math> converge en loi vers une variable aléatoire suivant la loi normale centrée réduite.</p> <p>Cas de la loi binomiale : théorème de de Moivre-Laplace.</p> <p>L'écart-type empirique d'un <math>n</math>-uplet de variables aléatoires <math>(X_1, \dots, X_n)</math>, noté <math>S_n</math>, est défini par <math>S_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_n)^2</math>.</p>	<p>Approximations qui en découlent. Les critères d'approximation devront être explicités.</p> <p>Théorème admis.</p> <p>On rappelle que <math>M_n^* = \frac{M_n - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}</math> est la variable aléatoire centrée réduite associée à <math>M_n</math>.</p> <p><math>\Leftrightarrow</math> On illustre numériquement cette convergence.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Théorème central limite (seconde forme) :</p> <p>Si <math>(X_n)_{n \geq 1}</math> est une suite de variables aléatoires indépendantes de même loi, admettant une espérance <math>\mu</math> et une variance, alors <math>\left(\frac{M_n - \mu}{\frac{S_n}{\sqrt{n}}}\right)_{n \geq 1}</math> converge en loi vers une variable aléatoire suivant la loi normale centrée réduite.</p>	<p>Théorème admis. Une autre version de ce théorème, impliquant l'écart-type empirique corrigé <math>S'_n</math> défini par <math>S_n'^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M_n)^2</math>, pourra être donnée.</p>
<p><b>c) Introduction aux tests</b></p> <p>Test de conformité à la moyenne.</p>	<p>On traitera le cas particulier d'une proportion par majoration de l'écart-type.</p> <p>Les notions de risque <math>\alpha</math> ou <math>\beta</math>, de puissance ne sont pas au programme.</p> <p><math>\rightleftharpoons</math> En lien avec l'informatique, mécanisme et simulation de tests statistiques.</p>



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

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

#### **Annexe 4**

#### **Programmes d'informatique 1<sup>ère</sup> et 2<sup>nde</sup> années**

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Programme du semestre 1</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Programme du semestre 2</b>	<b>6</b>
2.1	Méthodes de programmation et dictionnaire . . . . .	6
2.2	Bases de données . . . . .	6
2.3	Graphes . . . . .	7
2.4	Méthodes numériques . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Programme des semestres 3 et 4</b>	<b>8</b>
3.1	Méthodes numériques et statistiques . . . . .	8
3.2	Approfondissements des concepts informatiques . . . . .	9
<b>A</b>	<b>Langage Python</b>	<b>11</b>

## Introduction au programme

**Les objectifs du programme** Le programme d'informatique de BCPST s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il a pour objectif la formation de futurs ingénieures et ingénieurs, vétérinaires, enseignantes et enseignants, chercheuses et chercheurs et avant tout des personnes informées, capables de gouverner leur vie professionnelle et citoyenne en pleine connaissance et maîtrise des techniques et des enjeux de l'informatique et en la nourrissant par les habitudes de la démarche scientifique.

Le présent programme a pour ambition de poser les bases d'un enseignement cohérent et mesuré d'une science informatique encore jeune et dont les manifestations technologiques connaissent des cycles d'obsolescence rapide. On garde donc à l'esprit :

- de privilégier la présentation de concepts fondamentaux pérennes sans s'attacher outre mesure à la description de technologies, protocoles ou normes actuels;
- de donner aux futurs diplômées et diplômés les moyens de réussir dans un domaine en mutation rapide et dont les technologies qui en sont issues peuvent sauter brutalement d'un paradigme à un autre très différent;
- de préparer les étudiantes et étudiants à tout un panel de professions et de situations de la vie professionnelle qui les amène à remplir tour à tour une mission d'expertise, de création ou d'invention, de prescription de méthodes ou de techniques, de contrôle critique des choix opérés ou encore de décision en interaction avec des spécialistes;

**Compétences visées** Ce programme vise à développer les six grandes compétences suivantes :

**analyser et modéliser** un problème ou une situation, notamment en utilisant les objets conceptuels de l'informatique pertinents (table relationnelle, graphe, dictionnaire, etc.);

**imaginer et concevoir une solution**, décomposer en blocs, se ramener à des sous-problèmes simples et indépendants, adopter une stratégie appropriée, décrire une démarche, un algorithme ou une structure de données permettant de résoudre le problème;

**décrire et spécifier** les caractéristiques d'un processus, les données d'un problème, ou celles manipulées par un algorithme ou une fonction;

**mettre en œuvre une solution**, par la traduction d'un algorithme ou d'une structure de données dans un langage de programmation ou un langage de requête;

**justifier et critiquer une solution**, en développant des processus d'évaluation, de contrôle, de validation d'un code que l'on a produit;

**communiquer à l'écrit ou à l'oral**, présenter des travaux informatiques, une problématique et sa solution; défendre ses choix; documenter sa production et son implémentation.

La pratique régulière de la résolution de problèmes par une approche algorithmique et des activités de programmation qui en résultent constitue un aspect essentiel de l'apprentissage de l'informatique. Les exemples ou les exercices d'application peuvent être choisis au sein de l'informatique elle-même ou en lien avec d'autres champs disciplinaires.

**Sur les partis pris par le programme** Ce programme impose aussi souvent que possible des choix de vocabulaire ou de notation de certaines notions. Les choix opérés ne présument pas la supériorité de l'option retenue. Ils ont été précisés dans l'unique but d'aligner les pratiques d'une classe à une autre et d'éviter l'introduction de longues définitions récapitulatives préliminaires à un exercice ou un problème. De même, ce programme nomme aussi souvent que possible l'un des algorithmes possibles parmi les classiques qui répondent à un problème donné. Là encore, le programme ne défend pas la prééminence d'un algorithme ou d'une méthode par rapport à un autre mais il invite à faire bien plutôt que beaucoup.

**Sur les langages et la programmation** L'enseignement du présent programme repose sur un langage de manipulation de données (SQL) ainsi que le langage de programmation Python, pour lequel une annexe liste de façon limitative les éléments qui sont exigibles des étudiants. La poursuite de l'apprentissage du langage Python est vue en particulier par les étudiants pour adopter immédiatement une bonne discipline de programmation tout en se concentrant sur le noyau du langage plutôt que sur une interface de programmation applicative (API) pléthorique.

**Mode d'emploi** Ce programme a été rédigé par semestre pour assurer une certaine homogénéité de la formation. Le premier semestre permet d'asseoir les bases de programmation vues au lycée et les concepts associés. L'organisation de la progression au sein des semestres relève de la responsabilité pédagogique de la professeure ou du professeur et le tissage de liens entre les thèmes contribue à la valeur de son enseignement. Les notions étudiées lors d'un semestre précédent sont régulièrement revisitées tout au long des deux années d'enseignement. Le programme est présenté sous forme de tableaux à deux colonnes. Les premières colonnes - notions et thèmes - présentent les attendus exigibles du programme. Les secondes colonnes présentent des listes, sans aucun caractère impératif, d'exemples d'activités qui peuvent être proposées aux étudiants ainsi que des commentaires.

# 1 Programme du semestre 1

Les séances de travaux pratiques du premier semestre poursuivent les objectifs suivants :

- consolider l'apprentissage de la programmation en langage Python qui a été entrepris dans les classes du lycée;
- mettre en place un environnement de travail;
- mettre en place une discipline de programmation : spécification précise des fonctions et programmes, annotations et commentaires, jeux de tests;

La consolidation du langage Python portera principalement sur

- les variables
- les expressions et instructions
- les instructions conditionnelles
- les fonctions
- les instructions itératives
- la manipulation de quelques structures de données

Rappelons que l'annexe liste les éléments du langage Python qui sont exigibles des étudiants.

Le tableau ci-dessous présente les thèmes qui sont abordés lors de ces séances. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

Thèmes	Exemples d'activité. Commentaires.
Algorithmes élémentaires opérant par boucles simples.	Calculs de sommes et produits. Calculs des termes d'une suite récurrente (ordre 1, ordre supérieur), liste des termes, chaînes de caractères.
Algorithme opérant par boucles dans un tableau unidimensionnel.	Recherche d'un élément. Recherche du maximum, du second maximum. <i>Manipulations élémentaires d'un tableau unidimensionnel (indexation, extraction, etc.).</i>
Lecture et écriture dans un fichier texte.	
Utilisation de modules, de bibliothèques.	Calculs statistiques sur des données. Représentation graphique (histogrammes, etc.).
Algorithmes opérant par boucles imbriquées.	Recherche d'un facteur (ou d'un mot) dans un texte. Recherche des deux valeurs les plus proches dans un tableau. Manipulations élémentaires des tableaux à deux dimensions (indexation et extraction, etc.). Calculs de la somme, du produit et de la transposée d'une matrice. <i>On en profitera pour introduire la bibliothèque « NUMPY ».</i>
Recherche dichotomique.	Recherche de valeurs approchées d'une racine d'une équation algébrique. Recherche dichotomique dans un tableau trié. <i>On met en évidence une accélération du processus.</i>
Fonctions récursives.	Factorielles, suites récurrentes. Algorithme d'exponentiation rapide. Dessins de fractales. <i>On évite de se cantonner à des fonctions mathématiques.</i>
Matrices de pixels et images.	Obtention d'une image en niveaux de gris, image miroir, négatif. Algorithmes de rotation, de réduction ou d'agrandissement. Modification d'une image par convolution : flou, détection de contour, etc. <i>On pourra utiliser la bibliothèque « PIL ».</i>
Tris.	Algorithmes naïfs : tri par insertion, par sélection. Tri par comptage. Application aux statistiques : tri d'une série statistique, recherche de la médiane (éventuellement des quartiles). <i>On pourra faire le lien entre le tri par comptage et la recherche des effectifs d'apparition dans une liste.</i>

## 2 Programme du semestre 2

On approfondit, via les leçons et travaux pratiques, le travail entrepris au premier semestre concernant la discipline et les méthodes de programmation.

### 2.1 Méthodes de programmation et dictionnaire

Même si on ne parle pas de preuve d'algorithme, on insistera sur l'importance des tests dans la mise au point des programmes.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Identifiants et valeurs. Objets mutables et non mutables, portée d'un identifiant, effets de bord.	<i>On mettra en évidence le phénomène d'aliasing et son impact dans le cas d'objets mutables (listes).</i>
Dictionnaires, clés et valeurs. Usage des dictionnaires en programmation Python. Syntaxe pour l'écriture des dictionnaires. Parcours d'un dictionnaire.	Nombre d'éléments distincts dans une liste, construction d'un index.

### 2.2 Bases de données

On se limite volontairement à une description applicative des bases de données en langage SQL. Il s'agit de permettre d'interroger une base présentant des données à travers plusieurs relations.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Vocabulaire des bases de données : tables ou relations, attributs ou colonnes, domaine, schéma de tables, enregistrements ou lignes, types de données.	<i>On présente ces concepts à travers de nombreux exemples. On s'en tient à une notion sommaire de domaine : entier, flottant, chaîne; aucune considération quant aux types des moteurs SQL n'est au programme. Aucune notion relative à la représentation des dates n'est au programme; en tant que de besoin on s'appuie sur des types numériques ou chaîne pour lesquels la relation d'ordre coïncide avec l'écoulement du temps. Toute notion relative aux collations est hors programme; en tant que de besoin on se place dans l'hypothèse que la relation d'ordre correspond à l'ordre lexicographique usuel. NULL est hors programme.</i>
Clé primaire, clé étrangère	<i>On se limite au cas où une clé primaire est associée à un unique attribut.</i>
Requêtes SELECT avec simple clause WHERE (sélection), projection, renommage AS.  Utilisation des mots-clés DISTINCT et ORDER BY.	<i>Les opérateurs au programme sont +, -, *, / (on passe outre les subtilités liées à la division entière ou flottante), =, &lt;&gt;, &lt;, &lt;=, &gt;, &gt;=, AND, OR, NOT. D'autres mots-clés comme OFFSET et LIMIT pourront être utilisés mais leur maîtrise n'est pas au programme.</i>
Jointures $T_1$ JOIN $T_2$ ... JOIN $T_n$ ON $\phi$ .	<i>On présente les jointures en lien avec la notion de relations entre tables. On se limite aux équi-jointures : <math>\phi</math> est une conjonction d'égalités.</i>
Agrégation avec les fonctions MIN, MAX, SUM, AVG et COUNT, y compris avec GROUP BY.	<i>Pour la mise en œuvre des agrégats, on s'en tient à la norme SQL99. Les requêtes imbriquées ne sont pas au programme.</i>

### Mise en œuvre

La création de tables et la suppression de tables au travers du langage SQL sont hors programme. La mise en œuvre effective se fait au travers d'un logiciel permettant d'interroger une base de données à l'aide de requêtes SQL comme *MySQL* ou *SQLite*. Récupérer le résultat d'une requête à partir d'un programme n'est pas un objectif.

Sont hors programme : la notion de modèle logique *vs* physique, les bases de données non relationnelles, les méthodes de modélisation de base, les fragments DDL, TCL et ACL du langage SQL, les transactions, l'optimisation de requêtes par l'algèbre relationnelle.

## 2.3 Graphes

Il s'agit de définir le modèle des graphes, leurs représentations et leurs manipulations.

On s'efforce de mettre en avant des applications importantes et si possibles modernes : réseau de transport, graphe du web, réseaux sociaux, bio-informatique. On précise autant que possible la taille typique de tels graphes.

Notions	Exemples d'activité. Commentaires.
Vocabulaire des graphes. Graphe orienté, graphe non orienté. Sommet (ou nœud); arc, arête. Boucle. Chemin d'un sommet à un autre. Connexité dans les graphes non orientés. Matrice d'adjacence. Graphe $G = (S, A)$ .	<i>On présente l'implémentation des graphes à l'aide de listes d'adjacence (rassemblées par exemple dans une liste ou dans un dictionnaire). On n'évoque ni multi-arcs ni multi-arêtes.</i>
Pondération d'un graphe. Étiquettes des arcs ou des arêtes d'un graphe.	<i>On motive l'ajout d'information à un graphe par des exemples concrets.</i>
Parcours d'un graphe. Parcours en largeur.	<i>La file sera représentée par une liste. On pourra évoquer le problème de cette représentation naïve en terme d'efficacité mais aucune connaissance sur d'autres représentations plus performante n'est au programme.</i>

## 2.4 Méthodes numériques

Cette section propose des sujets de travaux pratiques venant compléter le programme du deuxième semestre.

Thèmes	Exemples d'activité. Commentaires.
Méthode des rectangles.	Comparaison avec d'autres méthodes : méthode de Newton, méthode des trapèzes.
Simulation de variables aléatoires suivant des lois usuelles : Bernoulli, binomiale, uniforme. Estimation d'une probabilité, estimation de l'espérance et de la variance.	Simulation d'expériences et de variables aléatoires. Simulation d'une variable aléatoire à l'aide de sa fonction de répartition. <i>La justification de cette estimation sera donnée en deuxième année</i>

### 3 Programme des semestres 3 et 4

Le programme de deuxième année est constitué de séances de travaux pratiques qui poursuivent les objectifs suivants :

- approfondir les connaissances acquises au deuxième semestre notamment sur les bases de données et sur les graphes;
- programmer des méthodes numériques vues en mathématiques;
- mettre en application des notions vues en statistiques et probabilités dont les tests statistiques;
- programmer de nouveaux algorithmes sur des applications en lien avec d'autres disciplines, notamment la biologie.

Comme au premier semestre, les tableaux ci-dessous présentent les thèmes qui sont abordés lors de ces séances. L'ordre de ces thèmes n'est pas impératif.

Aucune connaissance relative aux modules éventuellement rencontrés lors de ces séances n'est exigible des étudiants.

Les deux parties du programme représentent un volume horaire équivalent.

#### 3.1 Méthodes numériques et statistiques

Thèmes	Exemples d'activités Commentaires
Méthode d'Euler explicite pour la résolution approchée d'équation différentielle ordinaire d'ordre 1.	Modèle logistique, comparaison avec d'autres méthodes de résolution approchée (méthode de Heun par exemple). <i>L'impact du pas de discrétisation sur la qualité des résultats et sur le temps de calcul est mis en évidence.</i> <i>Les résultats obtenus peuvent être comparés avec une résolution exacte ou avec une fonction de résolution approchée fournie par un module.</i>
Simulation d'une variable aléatoire de loi géométrique à l'aide de la loi de Bernoulli.  Estimation de l'espérance, de la loi d'une variable aléatoire à partir de simulation.	On pourra simuler des variables aléatoires à l'aide de la loi uniforme et de la réciproque de la fonction de répartition : cas discret et continu. Exemples de la loi de Poisson, de la loi exponentielle et de la loi normale. Exemples de chaînes de Markov. Fonction de répartition empirique.
Illustration numérique de convergence en lois. Simulation d'une variable aléatoire suivant une loi de Poisson à l'aide d'une loi binomiale. Intervalle de confiance pour le paramètre d'une loi de Bernoulli.	Illustration du théorème central limite.  <i>La notion théorique d'intervalle de confiance n'est pas au programme</i>
Approfondissement sur les statistiques : simulation et mécanisme de tests. Simulation de variables aléatoires de lois de khi-2 et de Student. Elaboration d'un test de moyenne, dit de Student, sur un petit échantillon gaussien.	Elaboration d'un test de la moyenne, cas particulier d'une proportion. On affichera les histogrammes obtenus. On pourra visualiser la convergence des lois de Student vers une loi normale. <i>La connaissance des lois de Student et du khi-2 n'est pas un attendu du programme. On pourra utiliser les simulateurs intégrés dans Python. La mise en place de test statistique (hormis le test de conformité à la moyenne) doit être accompagné, les outils mathématiques sous-jacents ne sont pas au programme</i>

On pourra compléter cette partie par une étude sur un autre sujet ou approfondir un des thèmes précédents. Les thèmes suivants ont été choisis par leur lien possibles avec des applications possible en SVT mais ils ne

sont que des exemples proposés et ne sont pas des attendus exigibles du programme.

Exemples de thèmes libres	Exemples d'activités Commentaires
Complément sur la méthode d'Euler.	Méthode d'Euler explicite pour la résolution approchée de système d'équations différentielles d'ordre 1 et d'équation différentielle d'ordre 2. Modèle de Lotka-Volterra, modèle SIR, système différentiel issu d'une équation de cinétique chimique, équation d'un oscillateur harmonique amorti. <i>Une programmation vectorisée, même si elle peut être proposée, n'est pas un attendu du programme.</i>
Méthode du pivot de Gauss.	Résolution d'un système linéaire. <i>Une version sans recherche de pivot peut être proposée en premier puis une recherche de pivot partiel peut être programmée.</i> <i>On pourra mettre en évidence l'impact de la taille du système sur le temps de calcul.</i> <i>La programmation sans aide n'est pas un attendu du programme.</i>
Autour des équations aux dérivées partielles.	Équation de la chaleur, couplage réaction-diffusion. <i>Aucune connaissance sur les équations aux dérivées partielles n'est exigible.</i>

### 3.2 Approfondissements des concepts informatiques

Thèmes	Exemples d'activités Commentaires
Révisions et approfondissements sur les graphes. Parcours en profondeur. Plus court chemin dans un graphe pondéré.	Algorithme de Dijkstra. Problème du voyageur de commerce. Algorithme glouton, colonie de fourmis, recuit simulé. <i>L'objectif est de reprendre la structure de graphe à travers des approfondissements.</i>
Révisions des tris naïfs et exemple de tri récursif.	Tri fusion ou tri rapide. On pourra visualiser à l'aide de graphique l'accélération du temps de calcul. <i>La programmation du tri rapide en place n'est pas un objectif du programme. L'objectif sur les deux années est qu'un étudiant sache programmer un tri de son choix de façon autonome.</i>
Révisions et approfondissements sur les bases de données : révision sur les jointures et agrégations	<i>A partir d'une base de données comprenant 3 ou 4 tables ou relations, on approfondit la notion de jointure interne en lien avec la notion d'associations entre entités.</i> <i>Pour la notion d'agrégation, on présente quelques exemples de requêtes imbriquées.</i> <i>On marque la différence entre WHERE et HAVING sur des exemples.</i>

L'objectif de cette dernière partie est à travers l'étude d'un thème, sur plusieurs séances, de permettre aux étudiants de gagner en autonomie (choix de la représentation des données, choix du découpage en fonctions, etc).

Les thèmes suivants ont été choisis par leurs applications possibles en lien avec la SVT mais ils ne sont que des exemples proposés et ne sont pas des attendus exigibles du programme.

Exemples de thèmes libres	Exemples d'activités <i>Commentaires</i>
Informatique pour la génétique.	Recherche de motif : recherche exacte d'une ou plusieurs séquences courtes dans un génome. Algorithme naïf, algorithme de Rabin-Karp. Alignement de séquences en présence d'erreurs de séquençage ou de mutations. Distance d'édition, algorithmes de Needleman-Wunsch, de Smith-Waterman. Construction d'arbres phylogénétiques.
Images.	Segmentation d'images : comment partitionner une image en zones connexes? <i>La structure union-find peut être introduite dans ce but.</i>
Apprentissage et classification.	Algorithme des k-moyennes. Classification par $k$ plus proches voisins. <i>On pourra travailler autant sur des données réelles que sur des données issues de simulations (clusters gaussiens par exemple).</i>

# A Langage Python

Cette annexe liste limitativement les éléments du langage Python (version 3 ou supérieure) dont la connaissance est exigible des étudiants. Aucun concept sous-jacent n'est exigible au titre de la présente annexe.

Aucune connaissance sur un module particulier n'est exigible des étudiants.

Toute utilisation d'autres éléments du langage que ceux que liste cette annexe, ou d'une fonction d'un module, doit obligatoirement être accompagnée de la documentation utile, sans que puisse être attendue une quelconque maîtrise par les étudiants de ces éléments.

## Traits généraux

- Principe d'indentation.
- Portée lexicale : lorsqu'une expression fait référence à une variable à l'intérieur d'une fonction, Python cherche la valeur définie à l'intérieur de la fonction et à défaut la valeur dans l'espace global du module.

## Types de base

- Opérations sur les entiers (`int`) : `+`, `-`, `*`, `**`, avec des opérandes positifs.
- Opérations sur les flottants (`float`) : `+`, `-`, `*`, `/`, `**`.
- Opérations sur les booléens (`bool`) : `not`, `or`, `and`.
- Comparaisons `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`.

## Types structurés

- Structures indicées immuables (chaînes de caractères) : `len`, accès par indice positif valide, concaténation `+`, répétition `*`, tranche.
- Listes : création par compréhension `[e for x in s]`, par `append` successifs; `len`, accès par indice positif valide; concaténation `+`, répétition `*`, tranche, copie; `pop` en dernière position.
- Dictionnaires : création, accès, insertion, `len`, `copy`.

## Structures de contrôle

- Instruction d'affectation avec `=`.
- Instruction conditionnelle : `if`, `elif`, `else`.
- Boucle `while` (sans `else`), `return` dans un corps de boucle.
- Boucle `for` (sans `else`) et itération sur `range(a, b)`, une chaîne de caractères une liste, un dictionnaire au travers des méthodes `keys` et `items`.
- Définition d'une fonction `def f(p1, ..., pn)`, `return`.

## Divers

- Introduction d'un commentaire avec `#`.
- Utilisation simple de `print`, sans paramètre facultatif.
- Importation de modules avec `import module`, `import module as alias`, `from module import f, g, ...`



# **Classes préparatoires aux grandes écoles**

## **Filière scientifique**

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

#### **Annexe 5**

#### **Programme de géographie 2<sup>nd</sup>e année**

## PROGRAMME DE GEOGRAPHIE POUR LES CLASSES PREPARATOIRES DE LA VOIE BCPST

### Environnement et aménagement durable des territoires ruraux et périurbains en France métropolitaine et d'outre-mer

#### I. - OBJECTIFS DE FORMATION

La géographie vise à la compréhension d'un monde complexe que l'on ne peut appréhender sans une connaissance fine des acteurs de l'aménagement des territoires et sans une approche multiscalaire des problématiques écologiques, économiques, sociétales et culturelles.

Ce programme doit permettre aux étudiants de pratiquer la géographie comme une discipline d'ouverture vers les sciences humaines et d'identification des enjeux sociétaux. L'approche géographique partage les acquis des sciences de la vie et des sciences de la Terre de façon à croiser les regards autour de problématiques (ressources, risques...), d'objets d'étude (paysage, territoire), de documents et d'outils (cartes, images).

L'ambition du programme est de sensibiliser les futurs agronomes et vétérinaires à des problématiques géographiques liées aux espaces ruraux et périurbains du territoire français. Ce programme constitue un premier jalon vers des compétences développées au cours des formations d'agronomes ou de vétérinaires, en particulier la capacité à établir un état des lieux d'une réalité et de ses problèmes ainsi que la capacité à accompagner divers acteurs du monde rural (personnes, organisations). L'intégration des dimensions écologiques, économiques, sociétales et culturelles permettra aux futurs agronomes et vétérinaires d'appréhender les espaces ruraux et périurbains dans leur complexité et d'inscrire le concept de durabilité au cœur de leurs questionnements et de leurs actions futures.

La maîtrise de la lecture de la carte, placée au centre de l'épreuve, permettra de révéler de manière appliquée des complémentarités, des conflits, des contradictions perçus trop souvent de manière théorique et fragmentée. Elle constituera en outre le support d'une approche multiscalaire des réalités territoriales.

#### II. - COMPETENCES A METTRE EN ŒUVRE DANS LE CADRE DE L'ENSEIGNEMENT DE LA GEOGRAPHIE

<b>Compétences spécifiques en géographie</b>	<b>Se repérer dans l'espace</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Localiser une carte</li><li>- Situer la carte dans des logiques territoriales plus globales</li><li>- Raisonner à différentes échelles</li></ul>
	<b>Analyser et comprendre un corpus documentaire en fonction d'un sujet donné</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lire et analyser une carte topographique</li><li>- Analyser et confronter des documents de nature différente (images, données statistiques, affiches publicitaires ...)</li></ul>
	<b>Sélectionner l'information</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Exploiter et confronter des informations en fonction d'une thématique géographique appliquée à un territoire</li><li>- Appliquer au territoire d'étude les</li></ul>

		<p>informations tirées des documents et/ou des connaissances personnelles</p> <p>Porter un regard critique sur les documents (sources, contexte, indicateurs choisis, échelles)</p>
	<b>Raisonnement, justifier une démarche et des choix</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en perspective les documents pour faire émerger des enjeux territoriaux</li> <li>- Formuler, vérifier des hypothèses sur les logiques spatiales propres à un territoire</li> <li>- Mobiliser des connaissances générales pour expliquer une situation locale</li> </ul>
	<b>S'informer et appuyer son raisonnement à partir de l'outil numérique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser des sites d'informations et de recherche en géographie</li> <li>- Exploiter les informations tirées d'un SIG</li> </ul>
	<b>Confronter le savoir acquis en géographie avec d'autres matières</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en relation les connaissances géographiques avec celles des autres matières</li> <li>- Utiliser les démarches de raisonnement communes à différentes matières et les appliquer sur des outils de travail communs (outil numérique, données satellitaires, sortie de terrain...)</li> </ul>
<b>Compétences générales</b>	<b>Compétences de communication orale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maîtriser un ensemble documentaire inconnu</li> <li>- Argumenter</li> <li>- Dialoguer, défendre son point de vue</li> <li>- Compléter, nuancer ou corriger son propos initial à la faveur d'un entretien oral</li> </ul>
	<b>Compétences mobilisables en situation professionnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélectionner, décrire et analyser des données physiques, économiques, sociales et environnementales et les confronter à des connaissances générales</li> <li>- Evaluer les contraintes et ressources d'un territoire au regard d'une question donnée</li> <li>- Identifier les acteurs du monde rural (élus, professionnels, associations, usagers, etc.) et comprendre leurs logiques, y compris lorsqu'elles révèlent des contradictions</li> <li>- Envisager différentes solutions et pistes de développement réalistes</li> </ul>

### III. – ESPACES ET AXES DU PROGRAMME

#### III. 1 – Les espaces du programme

Le programme ancre la réflexion dans la diversité des territoires de la France métropolitaine et de la France d'outre-mer (limitée aux DROM). Les espaces ruraux et périurbains sont à étudier dans leurs diverses composantes et relations. Les espaces urbains présents sur la carte ne sont à considérer qu'en fonction de leurs relations avec les espaces ruraux et périurbains.

#### III. 2 – Axes et thématiques transversales du programme

Trois axes constituent les points d'entrée principaux dans le programme.

##### - Environnement et milieux : ressources, gestion, protection

Il s'agit de saisir la diversité et la complexité des milieux dans leurs composantes naturelles et anthropiques au prisme des pratiques, des représentations et des politiques associées à ces espaces.

##### - Espaces productifs et dynamiques socio-économiques

Dans un contexte de profondes mutations économiques et sociales pour partie liées aux processus de mondialisation, sont étudiés les filières productives et les acteurs qui structurent les territoires ruraux et périurbains.

Au-delà de ces seules dimensions productives, c'est bien la multifonctionnalité des espaces ruraux et périurbains qu'il conviendra d'examiner.

Une attention toute particulière sera portée aux enjeux résidentiels nouveaux et différenciés des espaces ruraux et périurbains, et à leurs impacts économiques, sociaux et culturels sur les territoires.

##### - Aménagement des territoires

Les enjeux du développement durable au sein des territoires ruraux et périurbains deviennent une préoccupation majeure des politiques d'aménagement. Confrontés à de nouvelles demandes et à de nouveaux cadres institutionnels, les acteurs, publics et privés, la société civile et le milieu associatif, apportent des réponses variées qu'il convient d'examiner.

Afin de mettre en relation ces axes principaux, certaines **thématiques transversales** pourront servir de points de réflexion et d'articulation.

- **Les représentations** : les acteurs agissent en fonction des représentations qu'ils se font de l'espace. Véritables moteurs de l'action, elles sont décisives dans l'analyse des dynamiques territoriales rurales et périurbaines.
- **Les conflits d'usage** : les acteurs, par leurs usages, leurs représentations distinctes des espaces peuvent entrer en confrontation sur la gestion/préservation des milieux, l'exploitation économique ou l'aménagement des territoires.
- **Le patrimoine** : notion-clé dans la mise en valeur des espaces ruraux, le patrimoine est un construit dépendant des représentations différentes, parfois conflictuelles des divers acteurs. Protection, exploitation, classement... font de la patrimonialisation des territoires une pratique centrale.
- **La question alimentaire** : dans le cadre d'une formation agronomique et vétérinaire, le rapport à l'alimentation fera l'objet d'une attention particulière. Seront abordés les enjeux de la question animale : maintien de la biodiversité, place de l'animal dans les différents modèles agricoles, mais

aussi conflits territoriaux centrés sur l'animal (loup, ours). Les questions liées aux productions végétales à destination alimentaire pourront de même être saisies dans une approche géographique : conséquences de la diffusion massive de certaines cultures, controverses sur les pratiques agricoles et leurs impacts, etc...

#### **IV. - LES DOCUMENTS ET OUTILS**

**Ce programme doit être abordé avec des documents** qui permettent de diversifier les approches thématiques et régionales.

##### **IV.1 La carte topographique**

La carte topographique au 1/25000<sup>ème</sup> est le document de base. A l'issue de leur année de formation, les étudiants doivent être en mesure de savoir la lire avec précision et d'en proposer un commentaire problématisé.

Cet exercice sur la carte topographique suppose des candidats une capacité à mobiliser un vocabulaire géographique sur l'ensemble des axes du programme. A cet égard, le vocabulaire élémentaire de géographie physique doit être connu (grandes notions de géomorphologie, principales formations végétales et caractéristiques climatiques) et mobilisé à bon escient en fonction du thème. Si la maîtrise de ce vocabulaire semble nécessaire pour un commentaire de carte topographique, on ne peut en aucun cas exiger des candidats qu'ils expliquent les processus de mise en place de ces éléments, en particulier géomorphologiques.

##### **IV. 2 Les documents complémentaires**

L'analyse de la carte s'appuie sur d'autres types de documents. Parmi eux peuvent figurer : des études statistiques, des photos et images, des textes, des documents de promotion territoriale ou économique, des cartes thématiques (plan de prévention des risques, zonages d'un EPCI ou d'une autre collectivité territoriale...). Les sources peuvent être variées : institutionnelles, scientifiques, journalistiques, etc...

Parmi ces documents complémentaires, le numérique occupe une place de choix. En effet, cet outil, de manière spécifique à l'enseignement de la géographie mais également par des usages transversaux avec d'autres enseignements de la filière, se doit d'être intégré à la formation des futurs agronomes et vétérinaires. L'utilisation d'un SIG simple, disponible et gratuit comme le site du Géoportail est à privilégier.

L'utilisation du Géoportail est généralisée : chaque sujet proposé le jour de l'épreuve comprend au minimum un document issu de la banque de données du site. Dans ce cadre, les étudiants devront être familiarisés prioritairement à l'usage des couches d'information suivantes : cartes topographiques d'échelles et de dates différentes, photographies aériennes de dates différentes, carte géologique, recensement général des productions (ancien et récent), carte d'occupation des sols (Corine Land and Cover 2018), carte forestière, cartes de risques. Ces couches seront accompagnées le jour du concours de leur légende et des informations nécessaires à leur compréhension (date, métadonnées, source...). De plus, il est attendu que l'étudiant sache proposer et justifier l'utilisation d'une ou plusieurs couches complémentaires pour enrichir son analyse.