

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'enseignement supérieur et
de la recherche

Arrêté du

relatif aux programmes de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST)

NOR ESR

Le ministre de l'éducation nationale et la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche,

- Vu le code de l'éducation ;
- Vu le décret n°94-1015 du 23 novembre 1994 modifié relatif à l'organisation et au fonctionnement des classes préparatoires aux grandes écoles organisées dans les lycées relevant des ministres chargés de l'éducation, de l'agriculture et des armées, et notamment son article 11 ;
- Vu l'arrêté du 10 février 1995 modifié définissant la nature des classes composant les classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles ;
- Vu l'arrêté du 3 juillet 1995 relatif aux objectifs de formation et aux programmes de la classe préparatoire de première année de biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST) ;
- Vu l'arrêté du 27 mai 2003 relatif aux programmes de première et seconde années de mathématiques, informatique et sciences de la vie et de la Terre, et de première année de physique et de chimie des classes préparatoires biologie, chimie, physique, sciences de la Terre (BCPST) ;
- Vu l'avis du Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche en date du ;
- Vu l'avis du Conseil supérieur de l'éducation en date du ;
- Vu l'avis du Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche agricole, agroalimentaire et vétérinaire en date du... ;

Arrêtent :

Article 1^{er}

Les programmes de première année de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST) de sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie et de mathématiques, figurant respectivement aux annexes 1, 2 et 3 de l'arrêté du 27 mai 2003 susvisé, sont remplacés respectivement par les annexes 1, 2 et 3 du présent arrêté.

Article 2

Les programmes de première et seconde années d'informatique de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST), figurant en annexe 3 de l'arrêté du 27 mai 2003 susvisé, sont remplacés par l'annexe 4 du présent arrêté.

Article 3

Le présent arrêté entre en vigueur à compter de la rentrée universitaire 2013.

Article 4

Le directeur général de l'enseignement scolaire et la directrice générale pour l'enseignement supérieur et l'insertion professionnelle sont chargés de l'exécution du présent arrêté.

Fait le

Pour le ministre de l'éducation nationale et par
délégation :
Le directeur général de l'enseignement scolaire

Pour la ministre de l'enseignement supérieur et de
la recherche et par délégation :
La directrice générale pour l'enseignement
supérieur et l'insertion professionnelle

Le présent arrêté et ses annexes seront consultables au Bulletin officiel du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche au Bulletin officiel de l'éducation nationale du mis en ligne sur les sites www.enseignementsup-recherche.gouv.fr et www.education.gouv.fr

ANNEXE 1

CLASSE PREPARATOIRE SCIENTIFIQUE BCPST

PROGRAMME DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

INTRODUCTION

Le programme de sciences de la vie et de la Terre de la classe de BCPST s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les écoles d'ingénieurs, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

Il importe donc de mesurer les évolutions de la formation au lycée pour favoriser le passage de la classe terminale à la classe préparatoire et appuyer les objectifs du présent programme sur des acquis antérieurs.

La relation au savoir des élèves a changé. Ils vivent dans un monde où la donnée est omniprésente et immédiatement disponible. Cela change sans doute ce qu'il leur est nécessaire de mémoriser et cela change sûrement leur attitude à l'égard de la connaissance : confondant souvent données disponibles et savoirs, ils peuvent, à tort, s'imaginer qu'il est aujourd'hui devenu inutile d'apprendre. Le choix est fait au lycée de stabiliser le plus possible un nombre obligatoirement limité d'idées essentielles, réservant l'exposé de détails au simple besoin de l'argumentation, sans qu'il soit exigé de l'élève qu'il les retienne. Ce faisant, limitant l'objectif de connaissance à un corpus – forcément discutable, mais que l'on espère correctement choisi – de concepts et théories structurants, le programme de lycée libère l'esprit pour une meilleure acquisition de quelques grands savoir-faire de la pensée ou du geste et de quelques attitudes intellectuelles fondamentales qui constituent l'outillage méthodologique du scientifique. C'est cet ensemble de contenus et de méthodes que l'on nomme les compétences développées.

Évidemment simplifiées à la fin de l'enseignement secondaire, ces compétences s'approfondissent en classe préparatoire tout en restant suffisamment généralistes pour donner un panorama des domaines et représentations scientifiques actuels et permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la voie choisie, de la recherche fondamentale ou de l'application à un champ professionnel (ingénieur, vétérinaire, etc.).

La diversité et le degré de précision des connaissances que l'on souhaite faire acquérir en CPGE sont bien évidemment approfondis par rapport à ceux du lycée. Néanmoins, c'est le même esprit qui veut être à l'œuvre en CPGE. La démarche, déjà entreprise, qui éloigne le style pédagogique de ces classes de l'accumulation encyclopédique des détails devra être poursuivie. L'objectif général est de stabiliser, à un niveau de première expertise cette fois, les connaissances essentielles, d'acquérir les principaux savoir-faire, de s'imprégner des attitudes intellectuelles communément reliées à l'exercice de la pensée scientifique. C'est dans cet esprit que le programme est conçu et présenté.

Ce programme est destiné à la fois aux étudiants, aux professeurs et aux interrogateurs de concours ; il constitue leur base commune de travail. Rédigé en termes de compétences, il constitue le référentiel de ce que l'on attend des étudiants en termes de savoirs et de capacités.

Les contenus du programme : un réseau de connaissances intégrées autour de grands concepts

Le programme définit des contenus (faits, modèles, concepts...), qui constituent une base de connaissances de premier ordre indispensables à l'organisation du savoir visé. Ces éléments doivent pouvoir être exposés par l'étudiant de façon concise, en particulier dans le cadre d'épreuves de synthèse. Ils servent aussi de cadres de référence pour analyser, interpréter, comprendre, discuter, critiquer... 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.

Les grands concepts fédérateurs, les problématiques essentielles qui constituent la colonne vertébrale des SVT, même s'il n'en est pas systématiquement fait mention dans les différents items du programme, constituent des fils rouges indispensables qui devront être mis en valeur chaque fois que cela se justifiera. Il en va ainsi, par exemple, de l'évolution et de la biodiversité, de la relation génotype/phénotype, des relations structures / propriétés / milieux / fonctions aux différentes échelles d'étude, de l'insertion des organismes dans des réseaux d'interactions biotiques et écologiques, de notions structurantes comme celle de «compartimentation», des concepts de cybernétique liés aux contrôles et aux régulations, des liens entre la vie et la planète, des différentes échelles de temps en géologie et en biologie, du tri géochimique en géosciences. Le hasard et l'indétermination des phénomènes, souvent liée à la complexité, sont également omniprésents tant en sciences de la vie qu'en sciences de la Terre. Ces fils rouges, souvent mis en exergue dans l'un ou l'autre des chapitres, plus discrètement présents dans d'autres, permettent aux étudiants d'établir des liens et d'organiser un véritable réseau de connaissances (comme le suggèrent les

renvois explicites entre parties du programme), de poser par eux-mêmes des problématiques et de mettre en perspective leurs exposés, en particulier lors de la réalisation de synthèses. Le monde vivant et sa planète seront, en toute occasion, présentés comme reliés par un champ complexe d'interactions, qui font apparaître des propriétés émergentes lorsque l'unité d'observation monte en ordre de grandeur. Cet ensemble d'interactions systémiques, qui est spécifiquement au cœur des SVT, sont à la fois sources de stabilité et de fragilité.

Ces contenus et les concepts visés doivent être argumentés et fondés sur des connaissances concrètes, autant que possible issues d'observations. Celles-ci sont acquises au cours des TP, qui sont étroitement liés aux objectifs de ce programme, et lors d'indispensables excursions de terrain, car l'observation de la nature dans sa complexité reste le fondement des SVT et révèle des aspects inaccessibles en laboratoire. Si une certaine richesse d'argumentation est nécessaire dans le cadre de l'enseignement afin d'éviter le risque d'une généralisation abusive, il importe d'éviter une surcharge inutile et de limiter la mémorisation des faits, en nombre et en développement, à ce qui est nécessaire à la présentation d'une argumentation valide. Ceci amène à définir deux niveaux d'exigibilité :

- un premier niveau implique d'être capable d'exposer un concept, un modèle, une idée, un phénomène en s'appuyant sur la présentation d'un seul exemple-argument (quelconque ou précisé dans le programme), par exemple dans le cadre de synthèses écrites ou orales ;
- un deuxième niveau implique d'être capable de construire une argumentation à partir de la réflexion sur un objet ou document fourni, confronter de nouvelles informations à un modèle connu soit pour l'y rapporter, soit pour identifier des différences et les interroger. Cette démarche sera réalisée en particulier dans le cadre du travail sur observations, documents ou articles scientifiques.

Cette nécessité de réinvestissement est au cœur de l'approche par compétence, exigeant que les savoirs soient réellement opérationnels mais strictement sélectionnés en nombre et en qualité. La définition de ces objectifs n'est pas sans impact sur la réflexion didactique et pédagogique qui gouverne l'organisation de l'enseignement en classe préparatoire dès lors qu'il s'agit de combiner, dans la construction des compétences, l'acquisition de contenus et de capacités.

Dans la présentation de ce programme, la colonne de gauche comprend l'énoncé des objectifs de connaissance ; elle ne constitue pas un « résumé » des contenus attendus mais désigne les éléments centraux de chaque unité ainsi que les conditions de leur étude. Ils doivent aussi être lus à la lumière des objectifs généraux indiqués dans l'introduction du programme.

La colonne de droite comprend quant à elle plusieurs types d'informations destinés à préciser ces attendus. Les alinéas commençant par un verbe à l'infinitif expriment **les capacités** que les étudiants doivent acquérir, c'est-à-dire par exemple : savoir présenter ou exposer des concepts, argumenter, analyser des éléments, mettre en relation... Ces précisions sont destinées à fixer plus clairement les capacités attendues en termes de mémorisation de connaissances (au premier ordre) mais aussi ce qui relève de l'acquisition de méthodes ou de savoir-faire, applicables à condition que les éléments sur lesquels ils doivent s'exercer soient fournis à l'étudiant. C'est aussi en cela que ce programme apporte un allègement par rapport aux précédents en supprimant la nécessité de mémoriser un nombre excessif d'exemples ou de détails.

Sont donc indiqués :

- des précisions sur les contenus attendus : argumentation minimale, éléments de diversification des exemples, parfois précision d'un exemple à utiliser. Le fait qu'un exemple soit désigné ne constitue pas une incitation à réaliser une monographie pointilleuse : au contraire, le niveau d'exigence est limité à ce qui peut servir la construction ou l'illustration des concepts visés ;
- l'énoncé de démarches ou d'actions à savoir réaliser (« capacités »), c'est-à-dire des savoir-faire exigibles associés au contenu spécifique de l'item ;
- des limites qui sont indiquées soit dans une rubrique spécifique, soit associées à des items plus précis selon qu'elles ont une valeur générale ou ponctuelle ;
- des liens avec d'autres parties du programme, avec l'enseignement d'autres disciplines, avec les programmes du second degré ou avec des concepts intégrateurs ; les indications, qui invitent à des mises en relations fortes, notamment entre années, ne sont pas limitatives.

La mise en œuvre du programme de SVT repose sur des cours, des travaux pratiques et des classes de terrain qui construisent de façon complémentaire des connaissances et des savoir-faire. Les TIPE, portant sur des sujets de biologie ou de géologie sans lien explicite avec le programme, complètent la formation en amenant les étudiants à conduire par eux-mêmes une démarche scientifique mobilisant différentes disciplines. Cet ensemble conduit à développer les compétences de base attendues à l'entrée dans les Ecoles, le terme de compétences étant ici pris au sens de la définition de l'OCDE c'est-à-dire comme étant constituées d'un ensemble de connaissances, de capacités et d'attitudes. Lors des épreuves, toutes ces compétences seront logiquement mobilisées par les candidats selon les besoins, quel que soit le contexte dans lequel elles ont été construites.

Dans la construction d'un savoir scientifique, les notions doivent être associées aux faits. La présentation des techniques et des données qui ont construit le concept préparent à celui-ci et ne peuvent être réduites à des

« illustrations » du concept. En particulier, les travaux pratiques comme les excursions de terrain contribuent à la construction des savoirs. Ils peuvent aussi constituer des moments de réinvestissement et de mise en œuvre dans des contextes différents. 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 trop étroit. De plus, divers TP ont été pensés en lien avec plusieurs aspects du programme ; par conséquent, leur mise en œuvre gagnera à identifier clairement ces liens. Les estimations de temps consacrées aux travaux pratiques doivent être considérées comme des « équivalents-séances » pouvant être redécoupés et distribués à volonté, une séance en classe pouvant permettre d'aborder plusieurs thématiques sur des durées plus courtes.

Il en va de même des items du programme et de l'ordre dans lequel ils sont présentés : chaque professeur garde la liberté d'organiser son enseignement comme il le souhaite, dans la limite du découpage sur les deux années. Il articule les TP avec les cours à sa convenance, d'autant que le poids relatif des uns et des autres varie selon les domaines et les parties du programme.

Compétences attendues :

En s'appuyant sur les compétences acquises dans l'enseignement secondaire, l'enseignement de CPGE constitue une étape vers l'acquisition de compétences notamment définies par les référentiels de la formation des ingénieurs (référentiel CTI) ; la contribution porte sur des compétences « généralistes » et en particulier sur :

- « - la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associé ;
- l'aptitude à mobiliser les ressources d'un champ scientifique et technique lié à une spécialité. »

Le référentiel des compétences à construire en classe préparatoire est ici présenté en trois grands blocs, correspondant globalement aux grandes composantes de la démarche scientifique : l'analyse et la formulation d'une problématique scientifique ; son traitement par l'investigation et la réflexion ; la communication et le réinvestissement.

Les capacités définies sont destinées à être travaillées dans le cadre des enseignements en cours et/ou en travaux pratiques, 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.

Premier bloc : compétences qui relèvent de la capacité à analyser une situation et poser une problématique

1- Conduire une analyse de situation par une démarche de type « diagnostic »

- recueillir, exploiter, analyser et traiter des informations
- observer et explorer
- analyser et hiérarchiser
- organiser et proposer une démarche diagnostic
- présenter la démarche

2- Poser une problématique

- identifier le problème sous ses différents aspects, dans son environnement technique, scientifique, culturel
- développer une pensée autonome

Deuxième bloc : compétences qui relèvent de la capacité à résoudre une problématique par l'investigation et l'expérimentation

1- Conduire une démarche réflexive d'investigation

- mobiliser les connaissances scientifiques pertinentes pour résoudre le problème, du champ disciplinaire ou d'autres disciplinaires
- identifier les différentes approches et concepts dans le traitement d'une question
- structurer un raisonnement et maîtriser des relations de causalité
- construire une démonstration en suivant d'une progression logique
- maîtriser la méthode exploratoire, le raisonnement itératif

2- Conduire ou analyser une expérimentation

- déterminer les paramètres scientifiques pertinents pour décrire une situation expérimentale
- évaluer l'ordre de grandeur des phénomènes et de leurs variations
- élaborer un protocole expérimental
- réaliser une manipulation
- mettre en œuvre des règles de sécurité et de déontologie
- effectuer des représentations graphiques et présenter les résultats
- analyser les résultats de façon critique (sources d'erreur, incertitudes, précisions)
- proposer des améliorations de l'approche expérimentale

3- Annoncer et décrire des perspectives nouvelles

- explorer, faire preuve de curiosité et d'ouverture d'esprit
- apporter un regard critique
- développer une pensée autonome

Troisième bloc : compétences qui relèvent de la communication et du réinvestissement

1- Construire une argumentation scientifique en articulant différentes références

- maîtriser les connaissances scientifiques relevant du champ disciplinaire et d'autres disciplines, ainsi que les concepts associés
- identifier une question dans un contexte posé
- intégrer différents éléments, les hiérarchiser, les articuler, les mettre en perspective, apporter un regard critique ;
- structurer un raisonnement et maîtriser des relations de causalité
- construire une démonstration en suivant une progression logique
- construire une argumentation écrite comme orale
- maîtriser des techniques de communication (synthèse, structure, clarté de l'expression, maîtrise du langage en particulier scientifique)

2- Organiser une production écrite

- s'exprimer correctement à l'écrit
- appuyer son propos sur des représentations graphiques appropriées

3- Structurer et présenter une communication orale

- s'exprimer correctement à l'oral
- appuyer son propos sur des supports graphiques appropriés
- convaincre
- s'adapter au contexte de la communication, savoir dialoguer

Au total, la mise en œuvre de ce programme doit permettre aux futurs ingénieurs, chercheurs et enseignants, de se constituer une culture scientifique de base dans le domaine des SVT, construite sur les principaux concepts et modèles, opérationnelle et transférable pour interroger et comprendre les situations auxquelles ils seront confrontés. Le choix pertinent des connaissances de premier ordre à mémoriser facilite la prise de recul, la mise en relation des connaissances mémorisées et l'acquisition d'un regard global et synthétique. Les méthodes acquises garantissent la rigueur scientifique des raisonnements et rendent les étudiants aptes à transférer ces connaissances à une diversité de situations dans un domaine scientifique à évolution rapide, dans lequel la mémorisation et l'accumulation de détails parfois rapidement périmés, fussent-ils qualifiés de « précisions », ne présente à l'inverse que peu d'intérêt.

L'usage de la liberté pédagogique

Les contenus du programme et les compétences attendues de la formation en sciences de la vie et de la Terre en BCPST laissent à l'enseignant une latitude certaine dans le choix de l'organisation de son enseignement, de ses méthodes, de sa progression globale, mais aussi dans la sélection de ses problématiques ou ses relations avec ses élèves, qui ressortit fondamentalement à sa liberté pédagogique, suffisamment essentielle pour lui être reconnue par la loi. Liberté pédagogique de l'enseignant qui peut être considérée comme le pendant de la liberté d'investigation du scientifique et de l'ingénieur.

Globalement, dans le cadre de cette liberté pédagogique, le professeur peut organiser son enseignement en respectant deux grands principes directeurs :

- pédagogue, il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des savoir-faire sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La détermination et l'étude des problématiques, alliées à un temps approprié d'échanges, favorisent cette mise en activité.
- didacticien, il doit savoir recourir à la mise en contexte des connaissances, des capacités et des systèmes étudiés : les sciences de la vie et de la Terre et les problématiques qu'elles induisent se prêtent de façon privilégiée à une mise en perspective de leur enseignement avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant de sciences de la vie et de la Terre est ainsi conduit naturellement à mettre son enseignement « en culture » pour rendre sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

Programme de sciences de la vie

Le programme de biologie est présenté par échelle d'étude pour les trois premières parties. A chaque échelle, deux grandes catégories de problématiques sous-tendent les contenus :

- la relation organisation / fonctionnement, parfois selon le milieu ;
- les interrelations entre les différents éléments spécialisés des systèmes, qui assurent l'intégration du fonctionnement.

La compréhension du fonctionnement du vivant implique que l'on construise l'emboîtement de ces différents niveaux soit pour expliquer des mécanismes, soit pour comprendre des relations de « cause à effet ». Ces dernières ne sont cependant pas linéaires, comme c'est le propre pour tout système complexe. Chaque palier d'organisation, cellule, organisme, écosystème, possède des propriétés émergentes supérieures à la somme des propriétés de ses parties, conférées en particulier par l'intégration du système.

La quatrième partie s'intéresse à la nature et à la transmission temporelle de l'information génétique du vivant. Cette dimension est envisagée elle aussi à différentes échelles :

- le temps court, du contrôle et de la régulation de l'expression génétique ;
- le temps de la transmission de l'information génétique entre générations et de la dynamique populationnelle ;
- le temps de l'évolution.

Elle permet d'aborder les processus d'adaptation des systèmes soit à ses variations de fonctionnement, soit à des variations de leur environnement, selon des processus intervenant à des vitesses différentes selon l'échelle temporelle considérée.

Ces idées seront privilégiées et mises en valeur chaque fois que possible, même si elles ne sont pas explicitées dans telle ou telle partie du programme. En particulier, l'idée que les structures et les processus observés sont le résultat d'une évolution, et en évolution perpétuelle, doit être sous-jacente à tous les aspects du programme.

Cette approche globale des systèmes vivants se construit progressivement au cours des deux années.

En première année sont traitées :

- au premier semestre, les parties I-A, I-B, II-A, IV-A, IV-B ;
- au second semestre, les parties I-C, I-D, II-D, IV-C.

I – Des molécules du vivant à la cellule : organisation fonctionnelle

L'étude des molécules vise essentiellement à mettre en relation la nature chimique des constituants du vivant, leurs propriétés, leur réactivité et leurs fonctions biologiques. La présentation des biosynthèses et des grandes voies du métabolisme est réalisée en lien avec celle des biomolécules elles-mêmes. Elle permet la compréhension des mécanismes impliqués dans la réalisation des flux d'énergie qui traversent la cellule, mais aussi des écosystèmes et des cycles biogéochimiques des éléments (§ III-B et III-C).

L'unité fonctionnelle de la cellule se construit au fur et à mesure des chapitres et des exemples rencontrés, intégralement en première année. Les différents chapitres font référence à des exemples concrets de cellules permettant de mettre en place progressivement des concepts généraux (compartimentation cellulaire, spécialisation etc.). Il s'agit de montrer des grands types d'organisation (Eubactéries, Métazoaires, Angiospermes) et l'existence d'édifices supramoléculaires en interaction (membranes biologiques en particulier), mais surtout l'unité des principes de fonctionnement des cellules. Les différenciations et spécialisations cellulaires rencontrées seront reliées au fonctionnement global d'un organisme (§ II-A), à son développement (§ II-D) ainsi qu'à l'expression génétique (§ IV-A) et sa relation au phénotype.

II - L'organisme : un système en interaction avec son environnement

Cette partie aborde le vivant sous l'angle de l'organisme en s'appuyant sur des organismes animaux, puis en élargissant les exemples : son enseignement doit être relié aux autres parties de ce programme aussi explicitement que possible, pour éviter une vision « isolée » de l'organisme.

La première année identifie les différentes fonctions et appréhende leurs interrelations au sein d'un organisme. L'exemple d'un ruminant permet d'aborder les relations inter- et intra-spécifiques, prépare la place de cet organisme dans le fonctionnement des écosystèmes (§ III-B), et montre les interactions entre objectifs sociétaux (agronomie et technologie) et études scientifiques.

Le programme aborde la réalisation des fonctions à travers plusieurs exemples. En première année, la reproduction aborde une première fonction ; elle prépare le lien avec d'autres échelles d'étude (§ III-A, IV-C...) et débouche sur le développement, qui relie le plan d'organisation à sa mise en place.

En seconde année, l'étude de la respiration exemplifie les mécanismes réalisant une fonction à différentes échelles d'étude et montre les relations entre organisation anatomique, fonction biologique et milieu de vie. Puis le contrôle

du débit sanguin offre un exemple d'interrelations entre plusieurs systèmes de contrôle et de régulation au sein de l'organisme ; il montre comment l'intégration des diverses réactions autorise l'adaptation physiologique aux variations d'activité de l'organisme ou aux variations de milieu.

Les concepts des chapitres précédents sont ensuite généralisés à d'autres types d'organismes dont les angiospermes. Plusieurs autres modèles, uni- ou pluricellulaires, montrent finalement la diversité des organismes, en préparant les aspects d'écologie (§ III-B) ou de phylogénie (§ IV-E) du programme.

III – Populations, écosystèmes, biosphère

Cette partie vise à franchir les différentes échelles allant de l'organisme à la biosphère, et met plus particulièrement en place l'organisation des organismes en populations, et des populations d'une part en espèces, et d'autre part en communautés où existent divers types de relations interspécifiques.

Entièrement développée en seconde année, cette partie montre d'abord les organismes en population. Une fois mise en place la notion d'écosystème, on constate que ces échelles d'organisation font émerger des processus comme les chaînes trophiques et les cycles des éléments. On montre que l'existence de chaque échelle a des conséquences sur les autres, en particulier sur les organismes (§ II) ainsi que pour la génétique et l'évolution (§ IV).

IV – la biodiversité et sa dynamique

L'étude des génomes et de leur expression permet d'expliquer l'origine et la dynamique de la biodiversité.

La première année montre la nature et la transmission du matériel génétique : les bases moléculaires de cette transmission à l'échelle cellulaire permettent de comprendre la conservation de l'information génétique et, en même temps, les sources de sa variation par mutation. A l'échelle des organismes, l'information génétique est transmise verticalement ou horizontalement, avec des recombinaisons entre locus lors des processus sexuels qui créent une diversité combinatoire. Tout ceci contribue à créer et entretenir de la biodiversité.

En seconde année, cette vision du vivant comme une information transmissible entre organismes sur des temps longs débouche sur la notion d'évolution : on montre comment la diversité mutationnelle peut être éliminée ou conservée par des mécanismes évolutifs aléatoires ou sélectifs. Finalement, la classification phylogénétique, ici mobilisée comme un outil pour discuter de scénarios évolutifs, permet de revisiter des organismes vus par ailleurs en discutant des processus évolutifs qui ont conduit à leur émergence. On attend que les êtres vivants rencontrés dans ce programme trouvent leur place dans cette classification.

Programme de sciences de la Terre

En sciences de la Terre, le programme vise essentiellement à présenter la Terre solide, en montrant néanmoins quelques aspects des enveloppes fluides. Leur étude détaillée est reportée à un niveau d'enseignement ultérieur. Ce programme montre la nécessité de prendre en compte les géosciences appliquées dans une société confrontée à des problèmes divers, en particulier aux risques naturels, à l'approvisionnement en ressources naturelles, à des pollutions...

Le lien étroit des géosciences avec d'autres disciplines (biologie, chimie, physique, mathématiques, géographie) implique l'utilisation de leurs acquis chaque fois que nécessaire.

Le programme s'articule aussi autour d'un travail sur le terrain effectué dans chacune des 2 années.

Il invite à mettre les cartes au centre de la réflexion, les cartes géologiques bien sûr, mais aussi toutes les cartes plus spécifiques (topographiques, géophysiques, tectoniques...) dont les apports complémentaires peuvent s'avérer nécessaires à l'étude des phénomènes. Issues de l'exploitation de données de terrain, traitées, choisies, présentées, problématisées, vectrices d'informations élaborées dans un but défini, les cartes sont ensuite des supports de réflexion, d'analyse des situations, de leur interprétation voire dans certaines circonstances, des documents permettant d'éclairer des décisions (gestion des risques, exploitation de ressources, travaux publics...) et de les traduire (cartes des risques par exemple). La relation aux faits et aux objets réels, en salle ou sur le terrain via les excursions demandées, reste au centre de cette exploitation. On attend donc que ce va-et-vient entre représentations cartographiques et réel soit fait chaque fois que possible.

En première année, les parties I, II, III et IV sont traitées au premier semestre. Elles permettent de mettre en place les fondements et le cadre d'étude des géosciences et des enjeux sociétaux qui la concernent. Les chapitres consacrés à la Terre, planète active (I), au temps (III) ou aux cartes (IV) permettent de faire la transition entre l'enseignement secondaire dont les acquis sont repris et stabilisés et la première année de classe préparatoire. Le chapitre (II) permet de redéfinir les enjeux déjà abordés au lycée. Ces chapitres permettent aussi de préciser les outils de base des géosciences et le cadre global dans lequel elles s'intègrent.

Au second semestre, deux thèmes majeurs (parties V et VI) sont abordés, l'un concernant la géodynamique interne avec le magmatisme, l'autre avec la géodynamique externe avec les processus sédimentaires. Phénomènes

géologiques fondamentaux, exemplaires par la diversité des méthodes d'étude et de raisonnement utilisés, ils amènent à présenter de la géosphère une vision à la fois précise, rigoureuse à un niveau d'explication exigeant, et d'une façon globale, intégrant à l'étude de la « Terre solide » l'interfaçage avec hydrosphère, atmosphère et biosphère, ainsi bien sûr que les enjeux humains.

En seconde année, ce panorama des grands phénomènes géologiques est complété par l'étude des déformations et du métamorphisme, au troisième semestre. Le reste du temps permet de construire sous un autre angle d'attaque la connaissance des grands ensembles géologiques. Loin de viser l'exhaustivité ou l'érudition, cet ensemble de chapitres construit, en interrelation avec les parties précédentes dont les contenus sont ici réinvestis, une vision synthétique du système Terre. Il permet de relier les différentes échelles d'espace : couplage entre les différentes sphères, vision synthétique de grands ensembles définis dans le cadre de la tectonique globale, grands ensemble structuraux régionaux. Sur ce dernier point en particulier, ce n'est pas la connaissance des histoires locales, même brossée à grands traits, qui est visée, mais bien l'intégration des différentes données, la mise en œuvre des méthodes acquise au cours des deux années, pour analyser et comprendre la géologie de ces objets de taille intermédiaire.

En première années sont traitées :

- au premier semestre, les parties I ; II ; III ; IV ;
- au second semestre, les parties V ; VI.

Contenu et mise en œuvre du programme

Sciences de la vie

I – Des molécules du vivant à la cellule : organisation fonctionnelle

I-A Organisation fonctionnelle des molécules du vivant (18h)	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
I-A-1 L'eau, les petites molécules organiques Les atomes de carbone des molécules biologiques portent des fonctions variées qui déterminent leurs propriétés physico-chimiques (dimension, solubilité, polarité, ionisation). Le rôle biologique des molécules organiques dépend de leurs propriétés physico-chimiques et de leur réactivité. Des réactions d'oxydoréduction modifient et diversifient les fonctions chimiques des petites molécules biologiques. Une même molécule biologique peut appartenir à plusieurs familles. La famille des glucides est composée des oses et des osides. Les oses ou glucides simples sont des molécules chirales réductrices qui dérivent du glycéraldéhyde ou	Cette partie vise à décrire l'activité chimique des cellules par les transformations chimiques qui impliquent les fonctions des petites molécules et des macromolécules. Cette partie ne prend vraiment son sens que si elle est mise au service de la biologie, c'est-à-dire en particulier, selon les molécules envisagées, en lien avec les § I-B,C & IV-A,B,C. - mettre en relation les caractéristiques d'une molécule (nature, taille...), ses propriétés (hydrophilie, solubilité, ionisation...), sa réactivité (acides, bases, esters et thio-esters, phosphorylations, équilibre céto-énolique) et in fine sa stabilité, ses fonctions. - identifier la nature des réactions chimiques lors de l'analyse d'une voie métabolique (acide-base, estérification, hydrolyse, oxydo-réduction, hydratation, aldolisation) ; - identifier et analyser les réactions d'oxydo-réduction du vivant en termes de transfert d'électrons ; <i>On se limitera à la description des fonctions alkyl, alcool, aldéhyde, cétone, acide, amine.</i> Liens : Métabolisme (§ I-C) Cours de Chimie. - représenter les molécules suivantes sous leurs formes linéaires et cycliques : glycéraldéhyde, dihydroxyacétone, glucose, fructose, ribose, désoxyribose ;

du dihydroxyacétone et qui portent plusieurs fonctions hydroxyle. Les di-osides sont des dimères d'oses associés par liaison osidique. Les lipides sont des molécules organiques hydrophobes de faible masse molaire. Ils peuvent posséder des groupements hydrophiles qui permettent la formation de micelles et de bicouches. Les glycolipides sont des molécules mixtes associant un lipide à un ou plusieurs radicaux glucidiques. Les acides alpha-aminés ont un état d'ionisation qui dépend du pH. Leur diversité repose sur les caractéristiques de leurs radicaux. La liaison peptidique unit deux acides aminés selon une géométrie qui conditionne les structures d'ordre supérieur. Les nucléotides sont des molécules organiques composées d'une base azotée purique ou pyrimidique et d'un pentose phosphorylé. Leur diversité est due à la nature de la base azotée. Ils forment des molécules de petite taille solubles et mobiles ou susceptibles de s'associer à des protéines Les conversions d'une famille à l'autre sont possibles. Oses, acides aminés et nucléotides sont également les monomères d'édifices macromoléculaires.	- représenter le saccharose et expliquer son absence de pouvoir réducteur ; - identifier et expliciter les liens entre oses rencontrés dans une voie métabolique (cycle de Calvin ou glycolyse) ; - décrire et représenter un triglycéride, un phosphoglycéride, le cholestérol ; - décrire et reconnaître les groupements hydrophobes et hydrophiles d'un lipide ; - reconnaître et définir le caractère saturé ou insaturé d'un acide gras ; <i>Aucune formule de glycolipide n'est à connaître.</i> - citer les groupes d'acides aminés et leurs principales propriétés associées ; - identifier sur une formule le type de radical, le rattacher à un groupe d'acide aminé ; - décrire et commenter la liaison peptidique ; <i>Seules l'alanine, la cystéine et la sérine sont à mémoriser.</i> - représenter l'organisation des nucléotides (pentose - phosphate - base azotée) ; - indiquer la distinction ribose / désoxyribose ; - représenter schématiquement ATP et NAD en liaison avec leur fonction d'intermédiaires du métabolisme ; <i>La seule formule exigible est celle de l'ATP.</i> - reconnaître les voies de conversion d'une famille à l'autre (en lien avec le métabolisme) ; - que le glycérol est formé par réduction du dihydroxyacétone ; - décrire le principe de la production de triglycérides ou phospholipides ; - décrire le principe de la production d'acides alpha-cétonique par oxydation d'oses et leur possibilité d'amination en acides alpha aminés ; <i>On se limite à l'exemple du pyruvate et de l'alanine.</i>
I-A-2 Les macromolécules Les macromolécules sont des polymères de forte masse molaire (globalement supérieure à 5000 Daltons). Ce sont des glucides, des acides nucléiques, des protéines ou des polyphénols (lignine). Les macromolécules glucidiques, non réductrices, sont des polymères le plus souvent monotones d'oses. Selon leur taille, leur solubilité, leur activité osmotique ou leur structure tridimensionnelle, ils forment de grands édifices aux fonctions diverses.	<i>La connaissance de la formule des polyphénols n'est pas au programme.</i> - montrer, à partir de l'exemple de l'amidon, du glycogène et de la cellulose, comme pour le saccharose, en quoi la polymérisation d'oses cyclisés rend ces macromolécules non réductrices ; - décrire schématiquement et commenter la structure

Ils peuvent s'associer à d'autres molécules organiques. Les acides nucléiques sont des polymères séquencés de nucléotides. Vecteurs d'information, ils peuvent interagir avec des protéines. Les protéines sont des polymères d'acides aminés. Les propriétés physico-chimiques de la liaison peptidique et des radicaux des acides aminés permettent aux protéines de s'organiser en structures tridimensionnelles secondaires, tertiaires et quaternaires. La fonction des protéines dépend des propriétés chimiques et mécaniques de ses différents domaines fonctionnels. Les macromolécules protéiques sont des structures dynamiques, dont les radicaux sont en permanente agitation. Leur fonction dépend de leur organisation tridimensionnelle qui repose sur des liaisons de faible énergie qui contribuent à contenir l'agitation thermique des radicaux. Elles peuvent s'associer de façon spécifique à d'autres molécules au niveau de sites. Les propriétés de ces relations protéines-ligands sont semblables ; les conséquences fonctionnelles qu'entraîne la fixation dépendent de la protéine. Certaines protéines sont glycosylées. Les lipoprotéines sont des édifices complexes de protéines et de lipides.	linéaire ou spiralée de deux polymères d'oses : la cellulose et l'amidon ; - relier leur constitution, leurs propriétés physico-chimiques et leurs fonctions ; <i>On se limitera aux fonctions de réserve (amidon et glycogène), de structure (cellulose, chitine, glycanes) et d'information (glycanes des matrices extracellulaires).</i> - représenter schématiquement et commenter les structures de l'ADN et de l'ARN, les relier à leurs propriétés en relation avec les attendus des cours de génétique (§ IV-A) ; - présenter les niveaux structuraux des protéines ; - présenter la diversité des relations entre radicaux ; - interpréter un profil d'hydropathie ; - présenter un modèle d'interaction spécifique entre une protéine et un ligand ; - relier les caractéristiques de l'interaction, ses propriétés (spécificité, stabilité...) et ses fonctions ; <i>On construit l'argumentation sur un exemple de mécanisme de catalyse enzymatique, qui permet entre autres de montrer l'importance du site actif, avec la stabilisation d'une forme de transition a priori instable sans l'enzyme.</i> Liens : Construits sur l'exemple d'enzymes, les concepts sont réinvestis à de nombreuses autres occasions (récepteurs, interaction ADN-protéines etc.). - présenter le principe d'une O-glycosylation sur sérine ;
---	---

I-B Membrane et échanges membranaires (13h)	
I-B-1 Organisation et propriétés des membranes cellulaires Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides assemblés en bicouches asymétriques. Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité et de communication de la membrane dépendent de cette organisation. I-B-2 Membranes et interrelations structurales Des interactions entre membranes, matrices extracellulaires et cytosquelettes conditionnent les propriétés mécaniques des cellules et les relations mécaniques entre cellules au sein des tissus.	- présenter en l'argumentant le modèle de mosaïque fluide ; - présenter et analyser les différents types de localisation des protéines membranaires ; - en discuter les conséquences en termes de mobilité ; - reconnaître les grands types de jonction et les relier à leurs fonctions ; - connaître la nature moléculaire des filaments d'actine, des microtubules et de la kératine afin d'argumenter leur fonction structurale au sein de la cellule ; - décrire l'organisation du collagène, l'architecture d'une matrice animale (on se limite à l'exemple d'un conjonctif) et d'une paroi pecto-cellulosique ;

Les matrices extracellulaires forment une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu. I-B-3 Membranes et échanges Il existe différentes modalités de flux de matière entre compartiments. Des transferts de matière sont réalisés entre compartiments par des phénomènes de bourgeonnement ou de fusion de vésicules (dont les phénomènes d'endocytose et d'exocytose). Les mécanismes reposent sur les propriétés des membranes et l'implication de protéines. L'eau et les solutés peuvent traverser une membrane par transferts passifs, par transport actif primaire ou secondaire. Ces transferts sont régis par des lois thermodynamiques (gradients chimiques ou électrochimiques, sens de transfert). Des modèles de mécanismes moléculaires permettent de rendre compte de ces différents types de flux. Ces échanges ont des fonctions diverses en liaison entre autres, avec la nutrition des cellules, leur métabolisme mais aussi avec des fonctions informationnelles à l'échelle de la cellule ou de l'organisme. Plus précisément : - la cinétique des flux transmembranaires peut être linéaire (diffusion simple au travers de la phase lipidique), ou hyperbolique (la diffusion facilitée par les transporteurs ou les canaux la cinétique de ces derniers étant cependant linéaires dans les conditions cellulaires) ; - un gradient transmembranaire (chimique ou électrochimique) est une forme d'énergie que l'on peut évaluer sous forme d'une variation molaire d'enthalpie libre. I-B-4 Membrane et différence de potentiel électrique : potentiel de repos, d'action et transmission synaptique Potentiel de membrane – potentiel d'action Les membranes établissent et entretiennent des gradients chimiques et électriques. Les flux ioniques transmembranaires instaurent un potentiel électrique	- relier la densité et les propriétés intrinsèques des réseaux de filaments aux propriétés mécaniques des matrices (consistances de gel plus ou moins fluides) ; - expliquer le principe de la rigidification d'une matrice par imprégnation de lignine ou de substance minérale ; <i>Aucun exemple particulier de cellule n'est exigible. Cependant, celui d'une cellule épithéliale est particulièrement propice à la présentation de ces interactions.</i> <i>Pour les matrices extracellulaires, on se limite à deux exemples :</i> - pour les végétaux, la paroi pecto-cellulosique ; - pour l'architecture d'une matrice animale, un conjonctif. <i>On ne fait que mentionner les parois bactériennes dont l'architecture n'est pas au programme.</i> - définir un compartiment ; - présenter un exemple de formation d'une vésicule d'endocytose et de fusion d'une vésicule d'exocytose ; - présenter de façon cohérente les différentes grilles d'analyse des flux transmembranaires en reliant les aspects dynamiques, thermodynamiques aux modèles moléculaires associés ; - présenter ces échanges dans la perspective de leurs fonctions biologiques ; - évaluer la liposolubilité d'une espèce chimique par son coefficient de partition huile/eau ; - relier une cinétique de passage à une modalité de passage ; - évaluer une différence de potentiel électrochimique ; - exprimer une différence de potentiel électrochimique sous forme d'une tension transmembranaire (« force ion-motrice ») ; - relier l'existence d'un gradient aux aspects énergétiques des transferts ; - relier les caractéristiques des protéines, leur localisation et leur fonction dans les échanges ; Liens : § I-A ; § I-C - définir la notion de potentiel électrochimique d'un ion et expliciter le calcul de son potentiel d'équilibre (loi de Nernst) ; - relier la variation du potentiel membranaire aux
--	--

appelé potentiel de membrane. Le potentiel d'équilibre d'un ion est le potentiel de membrane pour lequel le flux net de l'ion est nul. La présence de canaux ioniques sensibles à la tension électrique rend certaines cellules excitables. Le potentiel d'action neuronal s'explique par les variations de conductance de ces canaux. Dans les neurones, le potentiel d'action se propage de façon 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 gaine de myéline. La synapse permet la transmission d'information d'une cellule excitable à une autre en provoquant une variation de potentiel transmembranaire.	modifications de conductances ; - analyser des enregistrements de patch-clamp pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant ; - expliquer la propagation axonique par régénération d'un potentiel d'action ; <i>L'explication des montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible.</i> - expliquer, dans un fonctionnement synaptique, le trajet de l'information supportée par les signaux successifs : nature du signal, nature du codage, extinction du signal ; - relier ces étapes aux modèles de mécanismes moléculaires qui les sous-tendent ; - relier sur un exemple le fonctionnement des récepteurs ligands-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines (site, allostérie, hydrophobie et localisation...) ; <i>On se limite à un exemple qui peut être celui de la synapse neuromusculaire ou d'une synapse neuro-neuronique. On limite les précisions sur les mécanismes moléculaires à ce qui est strictement nécessaire à la compréhension du modèle. Aucun exemple spécifique n'est exigible, mais le choix d'un support permettant d'intégrer endocytose, exocytose et de comparer canaux voltages et ligands dépendants peut être pratique. Les mécanismes producteurs des potentiels post-synaptiques, de leur propagation et de leur intégration ne sont pas au programme.</i>
--	--

I-C. Métabolisme cellulaire (20h), 3 TP	
I-C-1. Les réactions chimiques du vivant (3h) Les transformations chimiques qui constituent le métabolisme obéissent aux lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique. Elles sont accélérées par des biocatalyseurs, les enzymes, qui permettent à ces réactions de se produire à des vitesses importantes dans les conditions du vivant (température, pH, etc.). Certaines transformations donnent lieu à un couplage énergétique. Les enzymes sont les facteurs de couplage. Le contrôle de la réalisation des transformations dépend : - de la présence des enzymes, liée au niveau d'expression des gènes ; - des changements conformationnels intervenant à tous les niveaux structuraux ; ces modifications sont induites par l'association, covalente ou non, à un ou plusieurs ligands.	- analyser les conditions thermodynamiques et cinétiques de la réalisation des transformations chimiques dans la cellule (variation d'enthalpie libre, chemin réactionnel, pH et T optimales) de façon à identifier et argumenter la notion de transformation spontanée et la nécessité de couplages entre transformations ; - analyser les couplages en termes thermodynamiques sans détail des mécanismes moléculaires (exemples possibles : hexokinase, pyruvate kinase) ; - identifier les effets de la fixation de ligands sur la cinétique d'une réaction catalysée par une enzyme ; - interpréter ces effets en termes de modification allostérique ; - analyser le mécanisme de contrôle sur une protéine monomérique et une protéine oligomérique (exemples préconisés : hexokinase et glycogène phosphorylase, sans mémorisation du détail de l'interaction entre radicaux d'acides aminés) ;

La nature des enzymes présentes dans les cellules ou les compartiments ainsi que la spécificité des associations entre ces enzymes et leurs ligands sont des éléments de la spécialisation des cellules.	Liens : Travaux pratiques (2 séances) cinématique enzymatique et son contrôle L'analyse des sites des protéines (§ I-A-2), certains concepts construits sont réinvestis dans d'autres situations d'interaction protéine-ligand (contrôle du développement (§ II-D), interaction messenger chimique-récepteur (§ II-C), etc.).
I-C-2. Biosynthèses caractéristiques (5h) Les transformations chimiques cellulaires permettent la réalisation de biosynthèses nécessaires au fonctionnement cellulaire et à la multiplication cellulaire. Des interconversions sont possibles entre les différentes familles de molécules ; elles aboutissent à la synthèse des principales molécules à rôles structural, métabolique ou informationnel qui permettent le fonctionnement des cellules et leurs interactions avec le milieu. Ces synthèses, localisées dans les cellules, sont associées à des voies d'acheminement des molécules vers leur localisation fonctionnelle intra ou extracellulaire. Un exemple de biosynthèse : la biosynthèse des protéines La synthèse des protéines est un processus de polymérisation d'acides aminés, réversible par hydrolyse. L'ARNr de la grande sous-unité du ribosome assure la catalyse lors de la formation de la liaison peptidique (ribozyme), réaction consommatrice d'énergie. De plus, cette polymérisation s'accompagne d'un transfert d'information et d'un décodage réalisé grâce à la coopération fonctionnelle de différents ARN au sein des ribosomes. La protéine synthétisée subit ensuite des modifications de structure et de localisation avant de devenir fonctionnelle. Elle acquiert sa structure tridimensionnelle, processus facilité par l'intervention de protéines chaperonnes. Sa localisation cellulaire est déterminée par la présence d'une information de position.	- commenter les principales biosynthèses cellulaires sur un panorama simplifié ; - indiquer la localisation cellulaire de la synthèse des principales biomolécules (phospholipides membranaires, protéines, acides nucléiques, constituants fibreux de la matrice extracellulaire ; sans démonstration, ni connaissance des intermédiaires) ; - commenter les voies d'acheminement de ces molécules vers leur localisation fonctionnelle ; <i>Il ne s'agit que de poser le cadre des synthèses cellulaires à un niveau obligatoirement très simplifié. Seules les cellules eucaryotes seront prises comme exemple. On se limite à ce qui est commun aux différentes cellules sans chercher à balayer la diversité des cellules spécialisées.</i> <i>La biosynthèse est abordée à partir de l'étude de la synthèse des protéines dans la cellule eucaryote, qui constituera le seul exemple exigible. On se limite ici à l'étude de la traduction, de la maturation et de l'adressage des polypeptides.</i> - décrire la formation et l'hydrolyse de la liaison peptidique ; - indiquer la nature du couplage énergétique ; - décrire la relation entre la structure du ribosome et ses fonctions dans la biosynthèse d'une protéine ; - relier les modalités de cette biosynthèse avec les éléments clé du transfert d'information (phase initiatrice de la traduction et calage du cadre de lecture ; code génétique, élongation, terminaison) ; - utiliser un tableau du code génétique sans mémoriser les expériences ayant conduit à son élucidation ; - décrire le fonctionnement du ribosome au cours de la phase d'élongation ; <i>Les expériences ayant conduit à l'élucidation du code génétique et la terminologie des facteurs protéiques intervenant dans la traduction ne sont pas à mémoriser.</i> - expliquer le principe de l'assistance au repliement des polypeptides ; - présenter la notion de séquence signal et son interaction avec le système de traduction ; - utiliser un modèle concernant les protéines plastidiales ou mitochondriales à codage nucléaire ;

Le contrôle de la biosynthèse est un des éléments d'ajustement du protéome cellulaire, qui dépend aussi de leur renouvellement et de leur recyclage.	<i>Ce point est simplement mentionné pour participer à la représentation de la dynamique cellulaire. Aucune précision ni développement ne sont au programme.</i> Liens : Oses et osides (§ I-A-1) Structure et fonction des protéines (§ I-A-1) Expression de l'information génétique (§ IV-A-1.)
I-C-3 Aspects énergétiques du métabolisme – liens Le métabolisme peut se lire selon deux grilles : - en termes de transformation de matière ; - en termes énergétiques. Ces deux approches doivent évidemment être reliées l'une à l'autre. Les interrelations entre voies métaboliques et leurs contrôles au sein des systèmes cellulaires introduisent une troisième grille de lecture : l'information.	avec les synthèses (12h)
<u>I-C-3-a Métabolisme et formes d'énergie de la cellule</u> Trois formes d'énergie sont privilégiées dans la cellule : l'énergie d'hydrolyse de l'ATP, l'énergie des réactions d'oxydo-réduction et l'énergie de gradient transmembranaire. La phosphorylation d'ADP en ATP est réalisée soit par transphosphorylation (synonyme de phosphorylation sur substrat) soit au niveau des membranes par conversion d'une force proton motrice. Chez les eucaryotes, mitochondries et chloroplastes jouent des rôles essentiels dans le métabolisme énergétique. Leur organisation, que l'on peut relier à une origine endosymbiotique, est étroitement liée à leurs fonctions.	- indiquer les ordres de grandeur de l'enthalpie libre de réaction d'une hydrolyse d'ATP et celle du transfert transmembranaire d'un ion ; - expliquer les différents modes de conversion énergétique permettant phosphorylation d'ADP en ATP intervenant au cours de la photosynthèse eucaryote et du catabolisme oxydatif ; - exploiter et relier des données mettant en évidence l'implication de réactions d'oxydoréduction et de flux de protons dans le fonctionnement des plastes et des mitochondries ; - présenter l'organisation fonctionnelle de la membrane interne de la mitochondrie animale, de la membrane du thylacoïde des chloroplastes et de la membrane plasmique d'une eubactérie nitrifiante en liaison avec la conversion d'énergie ; - décrire le principe de fonctionnement d'un complexe translocateur de protons (exemple préconisé : complexe cytochrome b6f ou bc1) ; - relier le principe de la conversion d'énergie aux caractéristiques de l'ATP-synthase ; - identifier les homologies entre les membranes et les chaînes précédentes de façon à argumenter leur origine commune ; - identifier la similitude fonctionnelle des processus membranaires mis en œuvre ; - présenter le principe du transfert photochimique à partir de l'exemple des pigments présents chez les plastes des chlorophytes ; - manipuler des valeurs et des diagrammes de potentiels redox ; - présenter et discuter une approche synthétique des différents modèles (modèles thermodynamiques fondés sur les potentiels redox et modèles moléculaires de transfert et de conversion énergétique) ; <i>Les précisions moléculaires sont limitées au strict nécessaire. Leur mémorisation ne va pas au-delà des données générales nécessaires à la présentation des modèles. En particulier, la liste des transporteurs d'oxydo-</i>

La diversité des modes d'établissement de cette énergie potentielle (en particulier de la force proton-motrice) permet de distinguer différents types trophiques (chimioorganotrophie, photolithotrophie et chimiolithotrophie).	<i>réduction, la structure fine des photosystèmes ne sont pas exigibles.</i> <i>Les arguments expérimentaux éventuellement présentés ne sont pas à mémoriser.</i> - définir les termes de chimiolithotrophie, chimioorganotrophie, photolithotrophie ; <i>Aucune précision supplémentaire concernant les « types trophiques » n'est exigible.</i>
I-C-3-b Métabolisme et transferts de matière Fondements métaboliques de l'hétérotrophie L'approvisionnement des cellules en éléments chimiques fondamentaux (carbone et azote) peut être assuré par hétérotrophie. Dans la cellule hétérotrophe pour l'azote et le carbone, ces éléments entrent sous forme de molécules organiques qui peuvent être anabolisées ou catabolisées comme source d'énergie. La glycolyse est une voie métabolique permettant la formation d'ATP, de coenzymes réduits et de pyruvate par une chaîne de réactions partant du glucose. L'oxydation du glycéraldéhyde 3-P dans le cytosol est une réaction clé. Le flux glycolytique est l'objet d'un contrôle cellulaire. Il participe à l'ajustement de la production d'ATP aux besoins de la cellule. Le pyruvate et les acides gras sont importés et utilisés dans la matrice mitochondriale pour produire de l'acétyl-coenzyme A, substrat du cycle de Krebs. Le cycle de Krebs est une voie de convergence du catabolisme. La production d'ATP est donc possible à partir de différents métabolites initiaux. La transformation des molécules azotées entraîne souvent une excrétion azotée. Fondements métaboliques de l'autotrophie L'approvisionnement des cellules en éléments chimiques fondamentaux (carbone et azote) peut être assuré par autotrophie. Dans le chloroplaste de la cellule eucaryote végétale, l'énergie lumineuse permet de réduire en molécules organiques les formes minérales des éléments. La Rubisco est une enzyme oligomérique michaélienne à activités carboxylase et oxygénase. Cette double activité catalytique débouche sur deux effets qui s'opposent et dont le bilan détermine la	- commenter un panorama des différentes transformations subies par les molécules organiques pénétrant dans la <u>cellule eucaryote animale</u>, seul exemple exigible ; - définir et discuter la notion de « chaîne de réactions » ; - commenter les différentes étapes de la glycolyse ; - identifier et exposer la réaction d'oxydoréduction et son couplage avec la phosphorylation ; - établir un bilan énergétique simple de la glycolyse ; - identifier les réactions clés, cibles des processus de contrôle ; - exposer un exemple d'enzyme glycolytique à régulation allostérique (exemple préconisé : phosphofructokinase I) ; - utiliser un modèle du cycle de Krebs ; Pour ces deux voies : - identifier les réactions d'oxydoréduction et le couplage de certaines d'entre-elles à une transphosphorylation - établir un bilan énergétique simple ; <i>Le détail des réactions métaboliques et la structure des composés intermédiaires de la glycolyse et du cycle de Krebs ne sont pas mémoriser.</i> - énoncer la nature des déchets azotés à l'échelle de l'organisme, sans détailler leur formation ; - exploiter et relier des données mettant en évidence les premières étapes de la fixation du carbone ; - établir un bilan de matière et d'énergie du cycle de Calvin ; - écrire les réactions conduisant du ribulose biphosphate aux trioses phosphates dans le cycle de Calvin ; - présenter l'organisation d'ensemble de la voie d'assimilation des nitrates par les nitrates réductases et le système GS-GOGAT ; - relier autotrophie à l'azote et absence d'excrétion azotée à l'échelle de l'organisme ; - exploiter et relier des données permettant d'établir l'existence d'une photorespiration ; - commenter un modèle de mécanisme C4-C3, sans mémorisation, de façon à argumenter l'existence de

fixation du carbone. Pour le métabolisme en C4, la PEP-carboxylase permet de fixer le dioxyde de carbone pratiquement jusqu'à épuisement. Il alimente les cellules ne possédant qu'un cycle de Calvin et leur permet de poursuivre ainsi la fixation et de contourner l'effet de la photorespiration. Les trioses phosphates produits par le cycle de Calvin sont stockés sous forme d'amidon dans le stroma chloroplastique ou exporté vers le cytosol. Ils sont à l'origine de la synthèse des différentes molécules organiques du vivant et de l'énergie utilisée par des voies analogues à celles des cellules hétérotrophes. Des transformations similaires se déroulent dans certaines cellules bactériennes chimiolithotrophes.	dispositifs de contournement de la photorespiration ; - énoncer les conséquences biologiques de la photorespiration et de son contournement à l'échelle cellulaire ; <i>Les transformations chimiques autres que celles explicitement citées ne sont pas à mémoriser. L'étude détaillée de la photorespiration n'est pas attendue. Le métabolisme CAM n'est pas au programme.</i> - commenter un panorama des différentes utilisations des trioses phosphates dans la cellule ; - relier le fonctionnement du chloroplaste et de la mitochondrie dans le métabolisme de la cellule ; - dégager la similitude des métabolismes du chloroplaste et de la bactérie chimiolithotrophe (exemple d'une eubactérie nitrifiante prise en exemple plus haut ; autotrophie au carbone et à l'azote) ; Liens : Travaux pratiques 2^{ème} année : écosystèmes et chaînes trophiques (§ III-B), cycle des éléments dont azote (§ III-C) Autres disciplines : Physique-Chimie
---	---

I-D Synthèse sur l'organisation fonctionnelle de la cellule (2 heures) Ce temps de synthèse identifié permet de rassembler les notions essentielles sur la cellule, eucaryote comme eubactérienne.

Travaux pratiques : première année, 6 séances

Organisation fonctionnelle de la cellule (3 séances) - remise en cohérence des acquis des classes antérieures - au fur et à mesure des cellules rencontrées, organisation fonctionnelle de différentes cellules d'organismes uni et pluricellulaires	- mise en œuvre de techniques d'études simples de la cellule - observation et identification des éléments d'organisation de la cellule (microscopie photonique - électronique) avec mise en relation des représentations 2D-3D
Nature, propriétés et techniques d'études des biomolécules (1 séance)	- réalisation d'une électrophorèse de protéines en conditions native et dénaturante - mise en évidence de l'existence de différents niveaux structuraux - chromatographie de pigments photosynthétiques de Chlorophyte et de Rhodophyte - analyse d'un résultat de blot (Western blot)
Cinétique enzymatique et son contrôle (2 séances) - approche expérimentale, interprétation en termes moléculaires	- suivi expérimental de la cinétique d'une réaction enzymatique, détermination de vitesses initiales dans le cas d'une cinétique michaelienne - détermination de K_M et V_{max} à l'aide d'un tableur - analyse et interprétation de données portant sur des cinétiques michaeliennes en présence ou non de différents types d'inhibiteurs (compétitifs - non compétitifs seulement) - interprétation en termes de structure des protéines avec utilisation d'imagerie moléculaire (site, spécificité, changement de conformation)

II – L'organisme : un système en interaction avec son environnement

II-A L'organisme vivant : un système physico-chimique en interaction avec son environnement (10 heures)	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
II-A-1 Regards sur l'organisme animal Tout organisme vivant est un système thermodynamique ouvert, en besoin permanent d'énergie. Dans le cas de l'organisme animal, ce besoin est satisfait par la consommation d'aliments (hétérotrophie), suivie de leur transformation. Les métabolites sont distribués dans l'ensemble de l'organisme et entrent ainsi dans le métabolisme. Le métabolisme énergétique aérobie est relié à la fonction respiratoire. Les déchets produits sont éliminés. La reproduction est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité ouvre à la sélection. La réalisation de l'ensemble de ces fonctions s'accompagne de mouvements de l'organisme. L'organisme est en interactions multiples avec son environnement biotique et abiotique. La survie individuelle dépend de systèmes de perception et de protection. Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent soit une régulation, soit une adaptation. L'étude de l'organisme relève ainsi d'approches multiples, diversifiées et complémentaires : taxonomique, écologique, agronomique, technologique.	<i>Le concept de l'organisme vivant est abordé à partir d'un exemple de ruminant, la vache. Cet exemple permet de définir les grandes fonctions et de les mettre en relation avec les structures associées (appareils, tissus, organes...).</i> <i>Loin de constituer une monographie, il s'agit d'une vue d'ensemble des fonctions en insistant avant tout sur les interrelations entre fonctions ainsi que sur leur dimension adaptative et évolutive pour en faire ressortir les points essentiels.</i> - identifier les caractères morphologiques, anatomiques... permettant de placer un animal dans une classification ; - connaître les différentes fonctions et relier les grands traits de leur réalisation aux supports anatomiques, dans un milieu de vie donné ; - expliquer et identifier sur quelques situations simples les interactions entre les fonctions qui fondent l'unité de l'organisme ; - montrer qu'un animal est inclus dans différents systèmes de relation : relations intraspécifiques et interspécifiques (dont la domestication) ; - montrer qu'en tant qu'«objet technologique », la vache est le produit d'une domestication et d'une sélection par l'homme ;
II-A-2 Plans d'organisations et relation organisme/milieu Ces notions ont une portée générale dans la description du monde animal. Le fonctionnement des organismes repose sur les mêmes grandes fonctions, réalisées par des structures différentes ou non selon les plans d'organisations, dans des milieux identiques ou différents. Pour des fonctions identiques, dans des milieux comparables, on identifie des convergences entre des dispositifs homologues ou non, correspondant ou non à des plans d'organisations différents. <i>Il s'agit d'un temps de synthèse qui permet de confronter les observations faites en travaux pratiques aux connaissances et concepts construits en II-A-1.</i> <i>On se limite aux animaux et aux fonctions dont les structures associées sont observables en travaux pratiques. Les autres aspects de la biologie de ces animaux ne sont pas abordés</i> Liens Travaux pratiques 2^{ème} année : respiration (§ II-C)	

Travaux pratiques : première année, 5 séances

Diversité des organismes pluricellulaires - Souris : (2 séances) - Poisson téléostéen - Langoustine, Ecrevisse - Criquet	L'étude des différents exemples permet de soutenir les deux chapitres précédents en étant conduite sous différents angles : - caractéristiques du plan d'organisation par analyse de la morphologie et de l'anatomie - anatomie fonctionnelle et anatomie comparée - réalisation des fonctions et relations organismes /milieu de vie - quand c'est possible, relations interspécifiques (parasites visibles, symbiotes etc.) Observations en lien avec la partie II-A-2 (morphologie et anatomie) : - Souris : appareil digestif, appareil « cardio-respiratoire », limité au départ du cœur des principaux vaisseaux, appareil uro-génital ; coloration et observation du contenu du caecum - Poisson téléostéen : appareil digestif, région branchie cœur avec au moins un arc aortique, appareil reproducteur - Ecrevisse – langoustine : extraction des appendices (sans la nomenclature des parties des appendices), appareil digestif, appareil circulatoire, cavité branchiale, appareil reproducteur, chaîne nerveuse dans la région abdominale - Criquet : extraction des pièces buccales – (nomenclature limitée au nom de l'appendice), montage de trachées Eléments d'histologie Les lames citées seront pour certaines observées à l'occasion de ces séances de travaux pratiques, pour d'autres lors de celles consacrées à différentes parties du programme de première année. Tégument (Mammifère, Téléostéen, Arthropode), intestin (Mammifère), gonades (Mammifères). Liens : § II-A, II-D Ces éléments seront complétés en seconde année (§ II-B, II-C).
---	---

Seconde année

II - B Exemple d'une fonction en interaction directe avec l'environnement: la respiration : (7 heures)

II - C Un exemple d'intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme (15 heures) + TP une séance

II-D Ontogenèse et reproduction (24h)	
II-D-1 Reproduction des organismes animaux et végétaux (12h) La reproduction des organismes animaux et végétaux est une source de multiplication des individus. En outre, selon les mécanismes, elle participe plus ou moins à leur diversification. Reproduction sexuée La reproduction sexuée des organismes s'inscrit dans un cycle de reproduction.	Liens : La multiplication est reliée à ses conséquences sur la dynamique des populations et des écosystèmes (2^{ème} année : § III). La diversification est reliée aux aspects génétiques et évolutifs (§ IV biodiversité). - tracer les cycles d'une Angiosperme, d'un Polypode et d'un animal (à choisir parmi les exemples traités précédemment) ; - placer sur ce cycle les éléments clés d'un cycle de reproduction : alternance de phases, alternance de générations, formation de spores ou de gamètes,

Les modalités de rapprochement des gamètes sont diverses et peuvent être reliées avec le milieu et le mode de vie des organismes. Elles s'accompagnent fréquemment de phénomènes de tri qui jouent sur les processus de diversification. D'une façon générale, les gamètes peuvent être libérés dans le milieu de vie et réalisent une fécondation externe (en milieu aquatique surtout), ou se rencontrer dans l'organisme femelle en une fécondation interne (lien avec le milieu aérien). Chez les Angiospermes, en milieu aérien, la pollinisation permet le rapprochement des cellules impliquées dans une double fécondation. Après tri des tubes polliniques, la double fécondation conduit à l'évolution du sac embryonnaire en embryon, de l'ovule en graine et de la fleur en fruit. La fécondation s.s. repose sur la fusion des gamètes et de leurs matériels génétiques ; les mécanismes cellulaires et moléculaires participent à assurer le caractère intraspécifique de cette fécondation et la diploïdie du zygote. Reproduction asexuée Certains organismes peuvent réaliser une reproduction asexuée, grâce au recrutement de structures variées, y compris le gamète femelle. Celle-ci peut assurer, dans des conditions favorables, une multiplication importante du nombre des individus, avec des conséquences ambivalentes sur la conservation de l'identique et la diversification.	fécondation, moment de la sexualisation, de la multiplication et de la diversification, lien au cycle des saisons... ; <i>La localisation de la formation des spores, des gamètes, des gamétophytes dans les organismes est connue, les mécanismes de leur formation ne sont pas au programme. L'exemple du Polypode ne doit servir qu'à présenter un cycle digénétique haplodiplophasique, avec des spores ou des gamétophytes facilement identifiables pouvant servir de référence.</i> - analyser les liens entre reproduction et milieu et mode de vie ; - montrer et argumenter l'existence fréquente d'un tri des partenaires associé au rapprochement des gamètes et ses conséquences ; - montrer que les modalités de rapprochement des gamètes sont liées au milieu et au mode de vie, en se limitant à deux exemples animaux (une espèce aquatique à vie fixée et une espèce réalisant une parade nuptiale permettant un choix de partenaire et préluant à un accouplement), ainsi qu'à trois exemples végétaux (Angiosperme, Fucus, Polypode) ; - décrire la fleur des Angiospermes et les gamétophytes en liaison avec leur fonction dans la reproduction sexuée ; - identifier différents types de pollinisation et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés (lien § III-B) ; - expliquer le principe de la double fécondation ; - présenter les devenir du sac embryonnaire fécondé, de l'ovule et de la fleur ; les étapes de ces évolutions ne sont pas exigibles ; Liens : Relier le système sporophytique d'auto-incompatibilité et le brassage génétique lié à la reproduction sexuée (§ IV-C) ; le mécanisme moléculaire n'est pas au programme. Mettre en relation l'organisation des gamètes mâles et femelle avec les modalités cellulaires de la fécondation. <i>On se limite au modèle Mammifère (en liaison avec le § D-II).</i> - relier la possibilité de reproduction asexuée à des caractéristiques de l'organisme (possibilité de dédifférenciation en particulier, réserves...) ; - relier les caractéristiques de la reproduction asexuée à ses conséquences génétiques, biologiques, écologiques ; <i>On se limite à la reproduction asexuée des Angiospermes. La parthénogenèse peut être mentionnée mais non développée.</i> Liens : Travaux pratiques Si les TP sont l'occasion de parcourir et d'analyser diverses modalités à la lumière des concepts visés, par
--	---

	contre, le nombre d'exemples utilisés en cours reste limité à ce qui peut servir l'illustration de ces concepts à l'exclusion de toute description exhaustive des modalités. 1^{ère} année : Mécanismes de la mitose (§ IV-B), méiose et diversification des génomes (§ IV-C), organisation de l'appareil végétatif des Angiospermes (§ II-E). 2^{ème} année : Dynamique des populations (§ III-A)
--	---

II-D-2 Développement d'un organisme animal (12h)	
Développement embryonnaire et acquisition du plan d'organisation Le développement embryonnaire animal se déroule suivant plusieurs étapes continues (segmentation, gastrulation, organogenèse) et permet la mise en place d'un plan d'organisation (larvaire ou juvénile). Dans ses grands traits, cette succession est commune, en particulier chez les Vertébrés. Différents mécanismes cellulaires interviennent qui permettent d'expliquer la multiplication des cellules (mitoses), la mobilité des cellules et des ensembles de cellules. L'organogenèse repose sur la différenciation des tissus et des cellules. Contrôle du développement embryonnaire Des cellules issues par mitose du zygote, donc avec un même génome, se différencient progressivement en fonction de leur position, ce qui aboutit à la formation de territoires, d'organes, de tissus spécialisés occupant une place spécifique dans le plan d'organisation. Cette évolution est contrôlée dans l'espace et dans le temps par des échanges d'informations reposant sur des communications inter et intracellulaires. Des cascades d'induction spécifient et modulent progressivement la différenciation des cellules et des territoires, modifient les caractéristiques de leurs réponses aux signaux (compétence) et spécifient de proche en proche leur devenir. In fine, ces systèmes d'information interagissent avec des réseaux de gènes, conservés dans l'évolution, dont l'expression est contrôlée par des facteurs de transcription et qui orchestrent le développement embryonnaire.	<i>L'étude du développement s'effectue sur des organismes modèles. Les étapes du développement sont étudiées sur un amphibien en se limitant au développement embryonnaire. L'étude du contrôle peut se référer à d'autres modèles.</i> - décrire les étapes du développement embryonnaire d'un Amphibien pour argumenter la mise en place progressive du plan d'organisation (acquisition du caractère pluricellulaire, symétrie et polarité, feuillets...) jusqu'au stade bourgeon caudal ; <i>Aucune mémorisation d'exemples complémentaires n'est exigée.</i> - lier les grands types de phénomènes constatés aux mécanismes qui les permettent (divisions cellulaires, adhérence intercellulaire, intervention du cytosquelette...) ; - présenter un exemple de différenciation cellulaire, ainsi que les événements génétiques associés (exemple préconisé : la différenciation du myocyte squelettique) ; - transposer le modèle établi à d'autres cas de différenciation cellulaire à partir de documents ; <i>On se limite à un exemple pour chaque grand mécanisme.</i> Liens : Mitose (§ IV-B) Organisation des cellules eucaryotes et de leurs matrices extracellulaires (§ I-A, B et D) - exploiter des données permettant d'établir un système de régulation, le principe des méthodes étant fourni (Knock-out de gènes, utilisation de gènes rapporteurs, hybridations in situ...) ; - présenter un exemple d'induction embryonnaire en s'appuyant sur un nombre limité de résultats expérimentaux ; - identifier et définir les cellules inductrices et compétentes ; - expliquer la relation entre induction, compétence et jeu du ou des signaux inducteurs ; - définir et présenter les gènes de développement à partir de l'exemple des gènes homéotiques ; - plus globalement, présenter un modèle de lien entre les phénomènes (induction, compétences), les signaux en jeu et l'évolution progressive des cellules au cours du développement embryonnaire ; Liens : Modalités de signalisation intercellulaire (§ II-C) Propriétés des protéines et leurs interactions (§ I-A)

Dans les grandes lignes, ces modèles d'interaction se retrouvent, non seulement chez tous les animaux, mais aussi chez les plantes.	<i>Aucune argumentation ni connaissance n'est exigible. Il s'agit simplement d'être capable de transférer les concepts acquis sur les animaux, toutes informations nécessaires à l'analyse, à la discussion et au raisonnement étant fournies.</i>
---	--

Travaux Pratiques : première année, 5 séances

Structures et cellules impliquées dans la reproduction	Etude des organes reproducteurs et des cellules reproductrices : - localiser des cellules reproductrices sur des coupes histologiques de gonades de Mammifères - prélever et observer des gamètes mâles et femelles (Fucus ou Oursin) ; réaliser une fécondation in vitro - réaliser et/ou observer des coupes d'ovaires, d'anthères et d'ovules d'Angiospermes - observer des structures reproductrices de Polypode Liens : Organisation des appareils reproducteurs observés au cours des dissections (§ II-A) Méiose (§ IV-C)
Développement embryonnaire des Amphibiens	Analyse des différentes étapes à partir d'embryons entiers ou de coupes Identification des structures et de la chronologie de leur mise en place
Les fleurs des Angiospermes (2 séances)	Observations, dissections, analyse de fleurs d'Angiospermes : - organisation florale en liaison avec le mode de pollinisation - organisation florale et systématique : utiliser une flore Lien : Classe sur le terrain
Fruits et graines	Observations de fruits et de graines afin de : - dégager les grands traits de l'organisation de fruits et de graines (en relation avec leur place dans la reproduction) - mettre en relation organisation des structures et mode de dissémination - repérer des homologues et des convergences dans la réalisation des fonctions des fruits et graines. (La typologie des fruits et des graines n'est pas au programme) - analyse de quelques cas de multiplication végétative (organes concernés, modalités et facteurs de la multiplication...)
Multiplication végétative des Angiospermes	
Classe de terrain La classe de terrain permet de mettre en œuvre certaines pratiques abordées en classe et de faire le lien avec d'autres échelles d'études (biotope, écosystème). Elle est également l'occasion de relier biologie et géologie et d'ouvrir sur les problématiques de géographie.	- utiliser une clé de détermination

Seconde année

II-E Organisation fonctionnelle des organismes (12h)

III – Populations, écosystèmes, biosphère (20 heures)

Seconde année

III-A Les populations et leur dynamique (3h)

III-B Les écosystèmes et leur fonctionnement (12h)

III-C Flux et cycles biogéochimiques (4h)

IV – La biodiversité et sa dynamique

IV-A Génomique structurale et fonctionnelle (8 h)	
IV-A-1 Génome des eubactéries – génome des eucaryotes L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent forment son génome. Chez les eubactéries, le génome à localisation cytoplasmique est formé d'un chromosome circulaire et éventuellement de plasmides. Le génome des eubactéries est compact : il est constitué presque exclusivement de régions codantes associées à des régions régulatrices communes (notion d'opéron). Chez les eucaryotes, on distingue le génome nucléaire et le génome des organites. Le génome nucléaire est constitué de chromosomes. L'ADN génomique est associé à des protéines dont des histones. Le génome nucléaire des eucaryotes, de plus grande taille, présente une grande part de séquences intergéniques non transcrites. La majorité de ces séquences est répétée. Les gènes eucaryotes sont généralement morcelés. IV-A-2 L'expression du génome : la transcription et son contrôle Le mécanisme de transcription de l'ADN est assuré par des polymérases ; elles génèrent plusieurs types d'ARN. La transcription est initiée au niveau d'un promoteur reconnu par des facteurs de transcription. Des signaux indiquent la fin de la transcription.	- utiliser des résultats de techniques de séquençage pour analyser et décrire les génomes - comparer les génomes des eubactéries et des eucaryotes, les grands traits de leur organisation, de leur expression et de sa régulation ; Lien : Phylogénie (§ IV-E) <i>On ne détaille pas l'organisation moléculaire du chromosome bactérien.</i> - présenter les différents niveaux de repli de la chromatine interphasique ; - étudier les similitudes entre le génome extranucléaire eucaryote et celui des eubactéries ; - éclairer cette comparaison sous un angle évolutif ; <i>On peut mentionner les séquences télomériques en lien avec la réplication (§ IV-B), les transposons en termes de copier/coller. Mais, ni les structures moléculaires ni les mécanismes mis en jeu ne sont au programme.</i> - mettre en relation les caractéristiques des molécules réalisant la transcription avec celles du système d'information (reconnaissance des débuts, signaux de fin...) ; - mettre en relation les processus de maturation post-transcriptionnelle avec d'une part la structure du génome, d'autre part l'état du transcriptome final ; <i>On limite les éléments à mémoriser au strict nécessaire</i>

Chez les eucaryotes, à partir de transcrits de gènes morcelés, différents processus de maturation post-transcriptionnelle des ARN messagers conduisent à la séquence traduite. Selon les types cellulaires, en réponse à des signaux, à des variations d'activité, des modifications des conditions de milieu, l'expression du génotype varie et conduit à des phénotypes cellulaires variés. Les mécanismes permettant ces modulations portent essentiellement sur le contrôle de la transcription. Le contrôle de la transcription fait intervenir des interactions entre séquences régulatrices et facteurs de transcription. Le niveau de transcription dépend aussi de l'état de méthylation de l'ADN et de modifications de la chromatine. Le contrôle de l'expression de l'information génétique fait aussi intervenir des petits ARN. Chez les eucaryotes, la diversité des régulations de transcription et des maturations post-transcriptionnelles explique en grande partie la diversité des transcriptomes. A une autre échelle de temps, les profils d'expression génétique sont parfois héréditaires, en l'absence de mutation (épigénétique).	<i>Seul l'exemple de l'ARN polymérase II eucaryote est à connaître.</i> <i>Le complexe d'initiation est présenté globalement ; sa composition et l'organisation du promoteur ne sont pas à mémoriser.</i> - présenter deux modèles simples de contrôle de la transcription : un modèle eubactérien (opéron) et un modèle eucaryote ; - situer les modalités présentées de contrôle de la transcription dans la perspective du fonctionnement cellulaire, à différentes échelles de temps ; <i>La présentation de l'opéron et de sa structure et de son fonctionnement est faite sans démonstration.</i> - présenter un exemple de contrôle de l'expression de l'information génétique par petit ARN ; Lien : Protéines (§ I-A) et interactions protéines ligands (§ I-C) Développement et contrôle de l'expression des gènes (§ III-D-2) - détecter l'expression sélective des gènes par l'étude des résultats des principales méthodes d'étude des transcriptomes afin d'exploiter des résultats expérimentaux ; <i>Les méthodes d'étude des transcriptomes ne sont pas à mémoriser.</i>
--	--

IV-B Réplication de l'information génétique et mitose (5 h)	
La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires est réalisée grâce à une duplication du matériel génétique, à faible taux d'erreur, suivie d'une répartition équitable du matériel génétique entre les deux cellules filles. IV-B.1 Duplication de l'information génétique : conservation et variation L'ADN subit une réplication semi-conservative assurée par un ensemble de protéines au niveau de la fourche de réplication. Le processus assure fondamentalement la conservation de l'information.	<i>Par souci de simplification, la réplication du matériel génétique sera étudiée chez une Eubactérie.</i> - expliquer en quoi le mécanisme de la réplication permet la polymérisation d'un polynucléotide et conduit à la formation de deux nouvelles double-hélices portant la même information que la molécule matrice ;

Des erreurs de réplication conduisent à des mésappariements qui peuvent être corrigés au cours ou à la fin de la réplication. Les erreurs non réparées modifient les séquences des génomes et constituent des mutations spontanées créant de nouveaux allèles. Un processus globalement « conservateur » est ainsi à l'origine de « variations ». IV-B.2 Cycle cellulaire, mitose et répartition du matériel génétique Chez les eucaryotes, la duplication du matériel génétique se produit au cours de la phase S du cycle cellulaire, lors de l'interphase. La mitose, pendant laquelle les chromosomes sont répartis de manière identique entre les deux cellules filles grâce au cytosquelette, boucle le cycle cellulaire. La cytokinèse ne suit pas obligatoirement la division du noyau ce qui conduit alors à des syncytiums.	- expliquer le principe du fonctionnement général d'une ADN polymérase (réaction catalysée, sens de lecture et sens de synthèse, rôle des amorces) ; - présenter un modèle simple de fonctionnement d'une fourche de réplication chez E. coli (ADN polymérase III, hélicase, primase, topoisomérase, protéines SSB) ; - mentionner les mécanismes d'élimination et de remplacement des amorces ; - montrer comment l'insertion d'une forme tautomère de base peut conduire à un mésappariement ; - expliquer l'importance de l'activité auto-correctrice des ADN polymérases dans la limitation du nombre d'erreurs ; - montrer un mécanisme de correction (tel que la correction par excision de base) capable d'éliminer des erreurs non repérées au cours de la réplication ; Lien : Mutations (§ IV-C) - définir le cycle cellulaire et les caractéristiques essentielles de ses différentes phases ; - montrer en quoi les mécanismes de la mitose, et en particulier le fonctionnement du fuseau achromatique, permettent l'égale répartition des chromosomes, donc de l'information génétique ; <i>On considère uniquement la mitose de cellules pour lesquelles la division cellulaire suit la division nucléaire. On se limite aux mécanismes de base ; la cohésine, tout comme la séparase par exemple, ne sont pas exigibles. Le contrôle du cycle cellulaire n'est pas au programme.</i> <i>On mentionne les structures syncytiales sans développement (Oomycètes, voir IV-E).</i>
---	--

IV-C La diversification des génomes (7 h)	
IV-C.1 Diversité des mutations et diversification des génomes Les séquences des génomes sont modifiées de manière aléatoire par des erreurs de réplication non réparées ou d'autres causes de mutations. Certaines mutations modifient la structure des chromosomes (délétions, inversions, duplication, translocation). Quel que soit le mécanisme, les mutations sont la seule source de diversification des allèles. IV-C.2 Brassage génétique et diversification des génomes La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles. Chez les eucaryotes, la méiose contribue à la diversification des génomes. En unissant des génomes	- expliquer des origines possibles de la modification de séquence sur deux exemples d'altérations ponctuelles. (dimères de thymine – cf. IV-B - désamination) ; - expliquer la relation entre les mutations et leurs conséquences sur la fonction du polypeptide codé ; - 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

haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes.	chez les organismes haploïdes et/ou diploïdes ; - évaluer en ordre de grandeur la diversification potentielle à partir de données (fréquences de mutation, nombre de chromosomes, etc.) ; - relier cette diversité aux processus de reproduction sexuée et en particulier, comparer auto- et allogamie (mécanismes et conséquences) ; on se limite à des exemples d'Angiospermes ;
D'autres processus liés à la reproduction sexuée à l'échelle des organismes et des populations interviennent dans cette diversification.	Liens : § II-D, III-A, IV-D L'ensemble de ces phénomènes est replacé dans le cadre général de la reproduction sexuée (modalités et cycles, mécanismes limitant l'autofécondation) (II-D) et diversité génétique populationnelle (III-A) <i>Ni la nomenclature des différentes étapes de la prophase 1 de méiose ni les mécanismes moléculaires de la recombinaison homologue de la méiose ne sont au programme.</i>
Chez les eubactéries (et dans une moindre mesure chez les eucaryotes), des modifications du génome sont possibles par transferts horizontaux de gènes.	- exposer deux exemples de transfert horizontal, l'un chez les eubactéries, l'autre chez les eucaryotes ; Liens : Hybridation (§ IV-D) et endosymbiose (§ IV-E)

Seconde année

IV-D Les mécanismes de l'évolution (7 h)

IV-E Une approche phylogénétique de la biodiversité (5 h)

Première année : Travaux Pratiques associés aux IV-A, IV-B, IV-C (3 séances)

Quelques outils pour l'étude des génomes	- réaliser et exploiter une électrophorèse de fragments de restriction d'ADN - établir une carte de restriction - manipuler quelques outils d'exploitation informatique des séquences nucléotidiques afin de réaliser l'identification de séquences homologues à la séquence étudiée et l'alignement de séquences en vue de la construction d'arbres phylogénétiques Lien : Phylogénie (§ IV-E) - analyser des résultats expérimentaux de différentes techniques de biologie moléculaire (transgénèse, Northern blot, Southern blot, utilisation de gènes rapporteurs, étude de la fonction de gènes par knock-out, puces à ADN) <i>(Ces études peuvent être faites lors de la séance de travaux pratiques ou associées à la progression du cours lorsqu'elles apparaissent opportunes)</i> <i>Le principe général des techniques de base est connu, mais le protocole simplifié de chacune est fourni pour en permettre une analyse raisonnée rigoureuse.</i> Lien : Cours § IV-A
Chromosomes, mitose et méiose	- réaliser une préparation microscopique afin d'identifier différentes phases de la mitose

	- exploiter des lames et des clichés microscopiques à différentes échelles (repérage des différentes phases, organisation des chromosomes et du fuseau de division de cellules végétales et animales) - analyser des résultats expérimentaux sur le contrôle du cycle cellulaire (identification d'un point de contrôle, analyse des interactions entre les protéines impliquées). - analyser des caryotypes et détecter des anomalies - analyse de résultats de croisement chez <i>Sordaria</i> Liens: Cours § IV-A et IV-B
--	---

I – La Terre, planète active (5h)

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
I-A Structure de la planète Terre (2h) La Terre est constituée d'enveloppes concentriques solides, liquides et gazeuses qui se distinguent par leur nature et leurs propriétés physico-chimiques. Les principales enveloppes solides sont les croûtes, le manteau, le noyau (noyau externe et graine), la lithosphère, l'asthénosphère et le manteau inférieur. Les enveloppes fluides sont l'hydrosphère et l'atmosphère. La nature minéralogique du manteau varie avec la profondeur.	- exploiter et relier des données permettant d'établir des discontinuités physiques ou chimiques dans le globe ; - exploiter et relier des données montrant la nature des enveloppes solides du globe ; - présenter un modèle radial de la Terre solide (modèle PREM) ; - exploiter des données géophysiques et expérimentales montrant les transitions de phase dans le manteau ; - relier l'architecture des silicates aux transitions de phase mantelliques ; - exploiter des données montrant la stratification des enveloppes fluides ; pour l'atmosphère, on se limite à troposphère et stratosphère. <i>L'étude des discontinuités s'appuie sur les connaissances acquises au lycée. Les travaux historiques permettant de les établir ne sont pas à connaître. L'architecture des silicates est introduite à propos de l'étude d'une transition de phase. La minéralogie du manteau n'est pas à connaître dans le détail. La diversité des structures silicatées n'est présentée dans la suite du programme que lorsque l'item l'exige.</i>
I-B Dynamique des enveloppes terrestres (3h) La dynamique des enveloppes terrestres est guidée par des transferts de chaleur interne et externe : conduction et convection. La convection mantellique, moteur des mouvements de plaques lithosphériques, est associée à l'expression d'une production de chaleur interne du globe. La convection troposphérique, motrice des vents en surface, est associée à la redistribution latitudinale de l'énergie solaire incidente.	- relier les grands événements géologiques et les frontières de plaques ; - relier les vents de surface à trois cellules latitudinales troposphériques ; - exploiter des données de tomographie sismique et les relier au contexte géodynamique ; - citer les principales sources de chaleur interne du globe ; - relier les propriétés des péridotites mantelliques ou du mélange gazeux atmosphérique à l'existence d'une convection ; - construire, à l'aide de données adéquates, un gradient géothermique ; - commenter un géotherme ; <i>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> <i>La construction de modèle cinématique n'est pas au programme.</i>
L'équilibre vertical de la lithosphère sur l'asthénosphère est archimédien : l'isostasie. Il s'agit d'un équilibre dynamique qui peut être source de mouvements verticaux. La modélisation des états équilibres permet de proposer des interprétations des reliefs et altitudes, que les données gravimétriques valident ou questionnent.	- réaliser des calculs simples d'équilibre vertical archimédien dans des contextes géologiques : chaîne de montagne, rift continental ; - exploiter des cartes gravimétriques obtenues par altimétrie satellitaire. Le géoïde sera assimilé à une surface sur laquelle l'énergie potentielle de pesanteur est constante ; par contre sur cette surface, l'accélération de la pesanteur g peut varier ;

Réciproquement, cette connaissance permet de reconstituer des variations altitudinales inaccessibles à l'observation directe ou à travers d'autres instrumentations. Par exemple, les variations spatiales de petite longueur d'onde du géoïde marin reflètent les reliefs sous-marins.	- relier des données permettant de proposer des hypothèses régionales en termes d'équilibre vertical ; - exploiter des données géologiques diverses permettant d'estimer une vitesse de remontée isostatique. L'ordre de grandeur de la durée d'un rééquilibrage isostatique sera connu ; <i>Les notions de champ et de potentiel ne sont pas exigibles.</i> Liens : Travaux pratiques : « Structure dynamique du globe terrestre » Métamorphisme (§ VII-B, en rapport avec les mouvements verticaux)
--	---

II – Risques et ressources : les géosciences et l'Homme (2h)

II-A Les risques liés à la géodynamique terrestre (1h) Les manifestations de la dynamique de la Terre présentent un caractère aléatoire, variable selon le phénomène et qui dépend de l'échelle (humaine 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'Homme et ses activités. Les aléas sont divers : ils sont associés à des phénomènes liés à la géodynamique externe (éboulement, glissement, tempête, cyclones, tornades, inondations) ou à des phénomènes liés à la géodynamique interne (séismes, éruption volcanique, tsunami).	<i>On se limite à des exemples de risques d'origine naturelle.</i> - distinguer les concepts d'aléa, d'enjeu et de risque ; - présenter les concepts généraux sur un petit nombre d'exemples étudiés dans l'année (aucun exemple précis n'est imposé) ; - appliquer ces concepts à l'analyse d'une situation ; Liens : Les aléas volcaniques sont reliés à la partie V sur le magmatisme. Les aléas sismiques sont reliés à la partie I-B (dynamique des plaques lithosphériques) et à la partie sismogénèse de 2^{ème} année (§ VII-A-2). <i>L'objectif est de montrer comment l'abord de ces questions nécessite la prise en compte des géosciences appliquées. Il s'agit seulement de montrer l'existence d'une diversité des aléas, mais en aucune manière de demander leur connaissance exhaustive, ni de leurs natures, ni de leurs répartitions géographiques, ni des mécanismes de chacun d'eux.</i> <i>Les aléas liés à la géodynamique externe sont simplement énoncés sans analyse ni démonstration. Aucune exhaustivité n'est exigible. Aucun exemple précis n'est imposé ; dans la mesure du possible, certains exemples seront pris dans le contexte régional. Seule leur présentation très globale pourra être attendue.</i>
II-B Les ressources géologiques (1h) L'homme puise dans les enveloppes terrestres solides de très nombreuses ressources inégalement réparties : eau, matériaux, minerais, ressources énergétiques. Ces inégalités conduisent à une adaptation de l'activité humaine aux conditions locales et à de nombreux échanges planétaires. Les connaissances géologiques éclairent les prises de décision concernant la recherche et l'exploitation de ces ressources.	- montrer la diversité des ressources et l'inégalité des disponibilités locales ; - montrer l'existence de conséquences de cette inégalité sur l'activité humaine ; - lier l'objet géologique naturel et l'objet économique que constitue la ressource ; - distinguer les problématiques associées à une ressource locale abondante (granulats par exemple) et à une ressource plus rare nécessairement importée ; Liens : Travaux pratiques : informations sur les forages, les mines, les carrières... à partir de cartes géologiques (1^{ère} et 2^{ème} année)

III – La géologie, une science historique (2h)

Les relations géométriques (superposition, recoupement, inclusions) permettent d'ordonner la chronologie de formations ou de phénomènes géologiques. La chronologie (ou datation) relative permet de situer les événements dans le temps les uns par rapport aux autres. La biostratigraphie se fonde sur le contenu fossilifère des roches pour caractériser des intervalles de temps et les classer de façon relative. La définition d'une unité stratigraphique se traduit par le choix d'une référence appelée stratotype. Les modifications paléontologiques sont les principaux critères pour établir des coupures de différents rangs dans les temps géologiques. Les informations obtenues sur des séries sédimentaires éloignées sont mises en correspondance par des corrélations. Les méthodes de chronologie relative conduisent à l'établissement d'une échelle mondiale des temps géologiques, l'échelle chronostratigraphique. La datation absolue, fondée essentiellement sur la radiochronologie, donne accès à la valeur de l'âge et étalonne l'échelle stratigraphique.	- établir et utiliser des relations géométriques pour déterminer une chronologie relative ; - extraire des informations à partir du contenu fossilifère d'une strate et d'une série sédimentaire ; - exploiter des données fournies pour établir un raisonnement chronologique et reconstituer une histoire ; - établir des corrélations entre différentes formations sédimentaires ; - présenter et exploiter les principaux caractères de l'échelle chronostratigraphique ; - discuter des problèmes liés à leur établissement et à leur utilisation (position des coupures, corrélations...) ; - présenter les différents types de stratotypes (dont les GSSP ou « clous d'or ») ; - définir les différents rangs de coupures de l'échelle stratigraphique ; - nommer les périodes ; Limite : <i>Aucune identification d'organisme fossile, ni aucune extension stratigraphique n'est à mémoriser ; les différents types de biozones ne sont pas au programme.</i> <i>Les différentes coupures de l'échelle stratigraphique sont définies, mais la connaissance de leur nom se limite à celle des périodes.</i> - expliquer le principe de la datation radiochronologique à partir de deux méthodes K/Ar et Rb/Sr ; - justifier l'utilisation de différentes méthodes de radiochronologie en s'appuyant sur la comparaison des méthodes K/Ar et Rb/Sr et de leurs domaines d'application ; - expliquer l'intérêt de la construction d'une isochrone (système riche et roche totale) ; Liens : Magmatisme (§ V) Travaux pratiques : - « La géologie, une science historique » - « Exploitation des cartes géologiques » - « Le magmatisme » - « Le phénomène sédimentaire »
---	---

IV – La carte géologique (2h)

La carte géologique est une représentation bidimensionnelle de la nature et de la géométrie du sous-sol. 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 l'état des connaissances au moment de sa réalisation. Les modèles numériques de terrain (MNT)	- exploiter les légendes d'une carte géologique ; - établir des corrélations spatiales et temporelles ; - utiliser la diversité des échelles spatiales ; - repérer les indices d'exploitation (forage, mines, carrières) ; - croiser les informations provenant de cartes de types différents. <i>L'exploitation d'une notice complète (souvent très dense</i>
--	---

permettent d'avoir une représentation de la topographie sous une forme adaptée à l'utilisation grâce à un ordinateur numérique ; les systèmes d'information géographique (SIG) corréler les données géoréférencées et produisent des cartes topographiques et des cartes thématiques. Les cartes géologiques de la France sont complémentaires dans leur échelle. D'autres documents cartographiques sont plus thématiques ; en particulier les cartes géophysiques fournissent des renseignements de nature différente.	<i>et dont la lecture est longue) n'est pas exigible. L'exploitation de cartes géophysiques ne donnera pas lieu à des développements sur les aspects fondamentaux de la gravimétrie et du magnétisme.</i> Liens : § III et programme de 2^{ème} année - réaliser des coupes géologiques à main levée en région tabulaire et en région plissée en partant de profils topographiques fournis ; - confronter les données d'une carte (ou de plusieurs cartes) à d'autres données pour proposer des hypothèses explicatives ; - confronter les données de cartes thématiques diverses ; <i>La réalisation de schémas structuraux sera faite en 2^{ème} année en liaison avec l'étude des déformations, d'une chaîne de montagne et des grands ensembles structuraux de la France. L'utilisation des cartes thématiques sera également reprise dans l'étude des grands ensembles géologiques (océan, chaîne de montagne).</i> Cette partie est traitée en liaison avec les travaux pratiques « Les cartes géologiques », mais aussi à chaque fois que le sujet du programme traité s'appuie sur l'exploitation d'une carte en particulier géologique. De ce point de vue, l'organisation générale des séances de Travaux Pratiques figurant sous le titre « les cartes géologiques » est laissée au choix du professeur.
--	---

V – Le magmatisme (8h)

V-A Les modes d'expression des magmas (2h) La trace de l'activité magmatique peut être directe (roches magmatiques pour les systèmes fossiles, volcans, fumerolles, séismes pour les systèmes actifs) ou indirectes (auréoles de contact, hydrothermalisme associé). Les modes de gisement des roches magmatiques sont variés : intrusions plutoniques résultant de la cristallisation de magmas en profondeur et mises à l'affleurement, formations filoniennes ou formations volcaniques. La chronologie de mise en place des roches magmatiques peut être établie par datation relative et par datation absolue. Les volcans actuels ou récents s'observent dans des environnements géodynamiques variés, principalement aux frontières de plaques (zones d'accrétion ou de subduction) mais aussi en domaine intraplaque. Les types de laves,	- identifier le mode de gisement d'une roche par analyse de sa texture ; - identifier une roche magmatique plutonique par analyse de sa composition modale et la placer dans la classification de Streckeisen ; - identifier une roche volcanique par sa composition minéralogique et sa constitution chimique et la placer dans le diagramme TAS ; - expliquer le lien entre composition chimique et composition minéralogique d'une roche magmatique ; <i>On se limite aux roches suivantes : basalte, gabbro, andésite, granodiorite, granite, rhyolite, trachyte.</i> Lien : § V-B-2 - établir une chronologie relative entre des formations magmatiques et leur environnement et/ou entre des formations magmatiques entre elles ; - exploiter des données radiochronologiques pour déterminer un âge absolu ;
---	--

majoritairement mises en place dans chaque contexte sont différents. Les produits émis au niveau des volcans attestent de l'existence de différents types de dynamismes éruptifs. 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 glaces...). La prévention des risques volcaniques se fonde sur la connaissance des éruptions passées et sur la mise en place de réseau de surveillance. 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 (cf infra). V-B Processus fondamentaux du magmatisme (6h). V-B-1 Production des magmas primaires 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 et la composition du liquide primaire obtenu par fusion partielle dépend, au premier ordre, de la nature de la source et du taux de fusion. La fusion partielle des péridotites mantelliques produit des liquides primaires de composition basaltique ; la fusion partielle de la croûte continentale (anatexie crustale) entraîne la production de liquides de composition granitique. Les causes de la fusion partielle des matériaux varient selon les contextes géodynamiques. V-B-2 Évolution des liquides 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	- différencier un dynamisme effusif d'un dynamisme explosif par l'étude des édifices volcaniques et des produits émis ; - relier dynamismes éruptifs et caractéristiques physico-chimiques des magmas ; - 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.) ; <i>Les observations sont conduites à l'échelle macroscopique et à celle des lames minces observées sous forme de photographies (LPNA, LPA). Les photographies sont légendées du nom des minéraux, l'objectif n'étant pas la reconnaissance de ceux-ci en lumière polarisée et analysée, mais la compréhension du système que constitue la roche, quant à sa formation, son origine et son histoire.</i> Liens : La détermination de l'âge absolu s'appuie sur les acquis des méthodes de chronologie (§ III). Le rappel de l'établissement d'une isochrone Rb/Sr permet de comprendre la signification du rapport isotopique initial exploité dans la détermination des sources de magma. - mettre en relation la convergence de composition des premiers liquides produits lors de la fusion d'une source (manteau ou croûte) avec les propriétés thermodynamiques (eutectiques) ; - reconstituer les conditions de fusion (congruente et incongruente) de phases solides et d'apparition d'un liquide dans des diagrammes binaires et dans un diagramme ternaire ; - estimer un taux de fusion partielle à partir de données géochimiques ; - proposer des hypothèses sur les conditions de la fusion : décompression adiabatique, échauffement isobare ou hydratation ; - discuter l'origine et la source des magmas à partir de la mesure des rapports isotopiques initiaux en Sr et Nd ; - identifier l'existence de sources magmatiques différentes sur des arguments géochimiques ; <i>La connaissance de la diversité des sources mantelliques n'est pas exigible, pas plus que la diversité des sources magmatiques en zones de subduction.</i> - utiliser un exemple connu de série (au choix) pour présenter les concepts fondamentaux de série magmatique et de différenciation magmatique ; - argumenter la notion de série magmatique à partir de données chronologiques, pétrologiques et géochimiques ; - reconstituer l'évolution des phases solides et liquides dans une cristallisation à l'équilibre et dans une
--	--

souvent très différents et attestant d'une évolution de la composition des magmas (différenciation magmatique). Deux mécanismes importants guident la différenciation magmatique : la cristallisation fractionnée et l'existence de mélange avec des solides (contamination) ou entre magmas. La composition des liquides basaltiques initiaux et des roches différenciées obtenues conduit à définir trois séries magmatiques principales : les séries tholéiitique, calco-alkaline 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-alkaline caractérise les zones de subduction et demeure souvent à l'origine d'éruptions dangereuses. La série alcaline s'observe principalement en domaine intraplaque.	cristallisation fractionnée en mettant en relation les observations pétrologiques (ordre de cristallisation), les données géochimiques et diagrammes (diagrammes binaires à solution solide ou avec eutectique, diagramme ternaire) ; - exploiter des observations pétrologiques et des données géochimiques pour formuler et argumenter des hypothèses sur les processus pouvant guider une différenciation magmatique ; - identifier la nature d'une série magmatique en utilisant un diagramme de Harker et formuler des hypothèses sur le contexte géodynamique de mise en place d'ensembles magmatiques à partir de données pétrologiques, géochimiques, structurales ; - associer certains dynamismes étudiés au § V-A et la (les) série(s) observée(s) ; Globalement : - exploiter des documents afin de proposer une (des) hypothèse(s) sur l'histoire régionale d'une série magmatique ; - expliquer les processus magmatiques dans le cadre de la formation de la lithosphère océanique ; <i>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...). La nomenclature des différents termes volcaniques et plutoniques des différentes séries n'est pas à mémoriser. Les mécanismes physiques pouvant expliquer le fractionnement des phases cristallisées, même s'ils sont mentionnés ne sont ni à argumenter, ni à connaître. L'existence d'autres processus susceptibles d'intervenir dans l'évolution de la composition d'un magma initial (injections successives, contamination par l'encaissant ou existence de mélanges) n'est abordée que pour discuter le modèle de base et amener à poser d'éventuelles hypothèses au regard d'autres observations ; la connaissance de ces processus n'est pas au programme.</i> Liens : Travaux pratiques : - « magmatisme » - « exploitation des cartes géologiques » Gestion du risque volcanique (§ III) Métamorphisme (§ VIII)
--	--

VI – Le phénomène sédimentaire (12h)

VI-A Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface (4 h) 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.	- analyser le modelé d'un paysage à partir de documents photographiques et cartographiques ; - identifier les principaux processus d'altération et d'érosion déterminant l'évolution d'un paysage ;
--	--

La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de facteurs structuraux, lithologiques et climatiques. Des processus d'altération Les principaux processus d'altération chimique par l'eau sont l'hydrolyse et la dissolution. 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. Les produits de l'altération sont différemment mobilisables, en particulier en fonction de leur solubilité. Erosion et entrainement de matière En surface des continents, l'érosion se traduit par des flux de matières en solution (solutés) ou en suspension (particules) transportés par les fleuves et dépendant de la géologie des substrats, du climat, des êtres vivants ou des activités humaines.	- proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage ; <i>Le raisonnement est privilégié, construit sur un ou des exemples au choix, par exemple pris localement. Aucune connaissance exhaustive n'est attendue.</i> - identifier la nature des processus chimiques se produisant à l'échelle des roches et des minéraux ; - décrire les différents stades d'hydrolyse des feldspaths alcalins ; - relier sur ces exemples la diversité des produits d'altération, des conditions d'altération et celle des climats ; - utiliser le diagramme de Goldschmidt ; - analyser l'altération des roches carbonatées en s'appuyant sur l'équilibre des carbonates et ses éléments de contrôle ; - interpréter la présence éventuelle d'oxydes et d'hydroxyde de fer et d'aluminium (latéritisation) dans les formations résiduelles par l'intervention de processus d'oxydation et des facteurs qui l'influencent ; - mettre en relation les types d'altération avec les facteurs géologiques et environnementaux ; - exploiter des données pour quantifier des transferts de matières à la surface du globe ; - identifier et argumenter les facteurs guidant leur importance et leur distribution ; - expliquer sur un exemple l'impact des activités humaines sur les transferts de surface ; - proposer des hypothèses sur l'impact des activités humaines sur les transferts de surface ; <i>On s'appuie sur les acquis de l'enseignement secondaire : « Le sol, un patrimoine durable » en Seconde, et « La disparition des reliefs » en Terminale. Néanmoins l'étude des sols n'est pas au programme. L'intervention de la biosphère sera simplement mentionnée.</i> <i>L'étude des phyllosilicates se limite à distinguer le rapport Si/Al des différents types d'argile.</i> Liens : Ressources géologiques (§ III) : on montre que les processus d'altération peuvent générer des concentrations à valeurs de ressources (bauxite, nickel de Nouvelle-Calédonie). Néanmoins aucune connaissance sur ces gisements n'est exigible.
VI-B La sédimentation des particules et des solutés (4 h) Les dépôts de particules en suspension (sédiments détritiques) sont liés aux conditions hydrodynamiques des milieux et se produisent dans des environnements divers, lacustres, fluviaux ou marins. Les sédiments présentent des structures et des figures sédimentaires diverses, à différentes échelles, traduisant les régimes hydrodynamiques.	- analyser des formations superficielles continentales à partir de photographies et de cartes (topographiques et géologiques) pour en identifier l'origine et en comprendre la dynamique de mise en place et d'évolution ; - analyser des structures et des figures sédimentaires à partir de données expérimentales (diagramme de Hjulström) et d'observations actuelles pour en identifier

Des courants gravitaires engendrent des turbidites. La sédimentation des solutés est précédée d'une bioprécipitation ou d'une précipitation. 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. Les dépôts ne s'observent pas au-delà d'une certaine profondeur, qui définit la profondeur de compensation des carbonates variable d'une zone océanique à une autre. 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. La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse, halite, sylbite) par concentration des solutions. VI-C Bassins sédimentaires et formation des roches (4 h) VI-C-1 Du sédiment à la roche : la diagenèse Les bassins sédimentaires se développent dans des environnements géodynamiques subsidents ce qui entraîne l'enfouissement des sédiments. Au cours de cet 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, de dissolution ou de recristallisation.	l'origine et la dynamique de mise en place ; - analyser des structures et des figures sédimentaires en exploitant le diagramme de Allen ; - analyser la distribution de dépôts détritiques marins à partir de données cartographiques pour caractériser les principaux environnements de sédimentation en relation avec la dynamique de l'hydrosphère ; <i>On se limite à la sédimentation détritique marine (environnements deltaïques, éventails sous-marins et milieux pélagiques).</i> - analyser les caractères d'une roche carbonatée pour en déduire l'origine et les conditions de formation ; - identifier l'origine et les facteurs de contrôle de la sédimentation carbonatée et siliceuse à partir de l'étude de la sédimentation pélagique ; <i>En ce qui concerne les environnements carbonatés, on se limite à l'étude d'une plateforme et d'un milieu récifal.</i> - mettre en relation la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels ; Liens : Enseignement secondaire : L'existence d'une sédimentation de la matière organique a été présentée en classes de Seconde et Première. Les acquis pourront être brièvement rappelés sans être développés et sans faire l'objet d'interrogations au concours. Ressources (§ III) : L'importance des concentrations sédimentaires dans les ressources naturelles (placers, évaporites) est évoquée, mais aucune connaissance n'est exigible à ce propos. - caractériser des mécanismes de diagenèse à partir d'observations pétrologiques à différentes échelles et de données géophysiques et géochimiques ; - argumenter et présenter les transformations chimiques de la diagenèse sur l'exemple des carbonates (transformation de l'aragonite en calcite, dolomitisation) ; Liens : L'étude de la diagenèse utilise des observations réalisées en Travaux Pratiques, en liaison notamment avec la classification des calcaires. En particulier, l'ensemble des connaissances et des
---	--

L'ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques d'une roche sédimentaire constitue son faciès. VI-C-2 Organisation des corps sédimentaires et signification au sein des bassins En plus des études de terrain, les formations sédimentaires d'un bassin peuvent être étudiées par forage. Elles sont aussi étudiées de manière indirecte par exploration sismique et enregistrements diagraphiques. Le suivi d'une série sédimentaire permet de reconstituer l'évolution des caractères des milieux au cours du temps. Les corps sédimentaires peuvent s'organiser en séquences dont la géométrie et les faciès traduisent des variations relatives du niveau marin (variable eustatique dépendante du temps) et/ou des signatures tectoniques (variable dépendante du temps et de l'espace) L'étude de la géométrie des corps sédimentaires permet de reconstituer des éléments de la dynamique du bassin sédimentaire. L'évolution des bassins subsidents s'effectue dans des contextes géodynamiques variés que l'on peut observer en régime de convergence, de divergence	méthodes acquises doit permettre de : - déterminer différents types de roches sédimentaires en utilisant les classifications <i>ad hoc</i> et la classification granulométrique pour les roches détritiques terrigènes et la classification de Dunham pour les roches carbonatées ; - formuler des hypothèses sur l'environnement et/ou les mécanismes de dépôt de la roche à partir de l'analyse de ses caractéristiques lithologiques et paléontologiques ; <i>On se limitera à l'identification chimique de roches carbonatées, à leur description macroscopique texturale (classification de Dunham) et à l'identification microscopique d'une matrice ou d'un ciment. La nature des grains carbonatés susceptibles d'être observés dans les roches proposées se limitera aux oolithes, à des microfossiles et à des bioclastes, la nature des fossiles n'étant en rien exigible.</i> Liens : Travaux pratiques : observation et analyse de roches sédimentaires en particulier calcaires Ressources géologiques (§ III) : on montrera l'intérêt de ces études dans la recherche et l'exploration des ressources (eau, gaz, pétrole). Enseignement secondaire : la diagenèse de la matière organique évoquée dans l'enseignement secondaire pourra être rappelée mais ne fera pas l'objet d'interrogations au concours. <i>Les seuls paramètres enregistrés dans les diagraphies et mentionnés seront le gamma-ray et l'outil "Sonic".</i> - mettre en relation des données de diagraphies avec certains caractères des roches traversées ; - exploiter des documents sismiques et lithologiques permettant d'argumenter des facteurs qui contrôlent la géométrie des corps sédimentaires ; - réaliser l'analyse stratigraphique d'une série sédimentaire pour observer et décrire des séquences lithologiques correspondant à des environnements de dépôt (faciès littoraux, faciès distaux) ; - relier l'observation sur une même verticale de faciès différent avec le déplacement horizontal du système de dépôt et la présence éventuelle de discontinuités (surfaces d'érosion...) ; - définir les notions d'accommodation, de taux de subsidence, de niveau marin absolu et relatif ; - identifier les principaux corps qui se succèdent dans un cycle eustatique ; - identifier les dispositions géométriques correspondant à une progradation, une aggradation, une rétrogradation ; - analyser une coupe-profondeur correspondant à un cycle eustatique grâce à l'exploitation de la coupe-temps correspondante ; <i>On se limite à la variable temporelle eustatisme ; le passage de la coupe-profondeur à la coupe-temps n'est pas exigible.</i> - discuter les causes de la subsidence en relation avec le contexte tectonique et le poids des sédiments ; - réaliser des calculs simples de subsidence à partir du
--	--

et de coulissage.	modèle d'équilibre vertical archimédien et à partir de données sédimentologiques des bassins ; Liens Travaux pratiques : « Phénomène sédimentaire » « Exploitation des cartes géologiques » 2^{ème} année : L'étude des bassins sédimentaires se prolonge en 2^{ème} année (marge passive, bassins sédimentaires de la France métropolitaine sur la carte au millionième) ; en 1^{ère} année, on ne fera que mentionner les facteurs de contrôle intervenant dans le fonctionnement des bassins (apports de matériaux, eustatisme, tectonique).
-------------------	---

Travaux pratiques :

Le lien fort entre les différentes parties portant sur des thématiques générales (cartes, temps, risques, ressources) et les parties portant sur des objets ou processus géologiques étudiés en première année (magmatisme, phénomènes sédimentaires, etc.) ou en seconde année (métamorphisme, grands ensembles géologiques) invite à organiser les travaux pratiques avec la plus grande liberté en respectant le cadre horaire global.

Pour la première année, neuf séances de travaux pratiques sont définies, dont quatre au premier semestre.

Structure et dynamique du globe (1 séance)	- étude de documents géophysiques permettant de remobiliser les acquis du lycée ; - exploitation de documents de tomographie sismique ; - exploitation de cartes de fonds océaniques (océan Atlantique ou océan Indien CCGM) ; - construction du gradient géothermique.
La géologie, une science historique (1 séance) Cette séance de TP pourra être envisagée en relation avec les séances de TP prévues en IV (la carte géologique).	- analyse des relations géométriques sur des supports divers (photographies d'affleurements, carte géologique) afin d'établir une chronologie relative entre formations ou événements géologiques ; - analyse de chronologie relative sur des documents fournissant des contenus faunistiques et l'extension stratigraphique des fossiles concernés ; - établissement de corrélations entre formations sédimentaires ; - mise en relation de formations sédimentaires avec l'échelle stratigraphique (identification de lacunes...) - exploitation d'une isochrone pour dater la fermeture d'un système (roches totales et système riche comme la biotite).
Les cartes géologiques (2 séances)	- réalisation de coupe en région tabulaire (à main levée ou à l'aide d'un profil topographique fourni) ; - réalisation de coupes en région plissée (à main levée ou à l'aide d'un profil topographique fourni) ; - exploiter les informations visibles sur une carte (à l'exception de la notice) pour établir une histoire régionale simplifiée.
Magmatisme (2 séances)	- analyse de paysages, d'affleurements et de cartes permettant de visualiser la diversité des modes d'expression du magmatisme ; - identifier à l'échelle macroscopique quelques minéraux : olivine, pyroxènes, amphiboles, feldspaths, quartz, micas ; - identification macroscopique raisonnée des roches magmatiques précédemment citées par l'étude de leur texture, de la minéralogie observable et de la mésostase ; - étude d'un exemple d'une série magmatique ; - réalisation d'exercices illustrant la diversité des sources, la variation du taux de fusion partielle ; - réalisation d'exercices illustrant deux moteurs de la différenciation magmatique : la cristallisation fractionnée et l'existence de mélanges.
TP Phénomène sédimentaire (3 séances)	- le modelé des paysages : analyse de cartes et de documents faisant apparaître un modelé glaciaire ;

	- analyse d'une carte montrant des formations superficielles ; - analyse des formations superficielles fluviales ; - étude des roches sédimentaires (critères d'identification) ; relations avec les conditions de mise en place : calcaires (avec classification), grès, argilites, marnes, bauxite, conglomérats, halite, gypse, houille ; - analyse d'observations pétrologiques et de données relatives aux transformations diagénétiques ; - calcul simple de taux de subsidence et analyse de l'évolution de la subsidence d'un bassin ; - observations de figures et structures sédimentaires ; - étude des séries sédimentaires à l'échelle d'un bassin ; - analyse de différents forages et diagraphies associées ; établissement des corrélations entre les forages ; - analyse d'une coupe-profondeur et d'une coupe-temps associées à un cycle eustatique.
Classe de terrain Le travail effectué sur le terrain permet d'établir le lien entre les objets réels et les différentes représentations utilisées en salle, dont en particulier les cartes. Il permet aussi d'ouvrir sur la biologie (via l'analyse et la représentation du paysage en particulier) et sur les problématiques étudiées en géographie.	- se localiser dans la topographie et dans la structure géologique - identifier, décrire, interpréter des objets géologiques à différentes échelles - reconstituer et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace - rendre compte sous différentes formes (photographies, croquis, textes...)

Seconde année

VII Déformations de la lithosphère et transformations minérales associées (11h)

VIII Etude de grands ensembles géologiques (11 h)

ANNEXE 2

Programme de Physique-Chimie en BCPST 1^{ère} année

Les objectifs généraux de la formation en deux années

La filière BCPST constitue la première étape d'une formation d'ingénieurs et de vétérinaires, reposant sur la connaissance du monde du vivant, sur la compréhension des lois de la matière et sur l'interaction entre l'Homme et son environnement. Les domaines d'activités visés lors de l'insertion professionnelle à l'issue de la formation sont variés et les responsabilités touchent à des secteurs vitaux pour la société, tels que la santé animale, l'agriculture, l'agroalimentaire, l'eau, l'environnement, la prospection minière, l'aménagement du territoire.

L'enseignement de physique-chimie poursuit la construction de **compétences scientifiques**, cognitives et réflexives, déjà ébauchées au lycée. Les étudiants doivent maîtriser la démarche scientifique, être en mesure d'identifier un problème scientifique et de mobiliser les ressources pertinentes pour le résoudre, maîtriser la recherche d'informations et la conduite d'un raisonnement, analyser de manière critique la qualité d'une mesure et les limites d'une modélisation. Pendant cette formation, les étudiants doivent aussi acquérir des **compétences en autonomie et créativité** : autonomie de réflexion et de modélisation, prise d'initiative, recul critique sont propices au développement de l'esprit d'innovation. La formation en physique-chimie contribue aussi à l'acquisition de **compétences organisationnelles et sociales**, notamment lors du travail partagé au sein d'un groupe au cours des activités expérimentales ou documentaires. Et il participe à la consolidation des **compétences de communication**, écrite ou orale.

La formation en physique et chimie en première année

Le programme de physique-chimie de la classe de BCPST1 s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles, et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus de vétérinaire, d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer cette science aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-faire ou capacités. C'est pourquoi ce programme définit un socle de connaissances et de capacités, conçu pour être accessible à tous les étudiants, en organisant de façon progressive leur introduction au cours de la première année. L'acquisition de ce socle par les étudiants constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Parce que la physique et la chimie sont avant tout des sciences expérimentales, parce que l'expérience intervient dans chacune des étapes de la démarche scientifique, parce qu'une démarche scientifique rigoureuse développe l'observation, l'investigation, la créativité et l'analyse critique, l'expérience est mise au cœur de l'enseignement de la discipline, en cours et lors des séances de travaux pratiques. Les activités expérimentales répondent à la nécessité de se confronter au réel, nécessité que l'ingénieur, le chercheur, le scientifique auront inévitablement à prendre en compte dans l'exercice de leur activité, notamment dans le domaine de la mesure.

Pour acquérir sa validité, l'expérience nécessite le support d'un modèle. La notion même de modèle est centrale pour la discipline. Par conséquent modéliser est une compétence essentielle développée en BCPST1. Pour apprendre à l'étudiant à modéliser de façon autonome, il convient de lui faire découvrir les différentes facettes de la physique et de la chimie, qui toutes peuvent le guider dans la compréhension des phénomènes. Ainsi le professeur doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

La construction d'un modèle passe par l'utilisation nécessaire des mathématiques, symboles et méthodes, dont le fondateur de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles étaient le langage dans lequel est écrit le monde. Si les mathématiques sont un outil puissant de modélisation, que l'étudiant doit maîtriser, elles sont parfois plus contraignantes lorsqu'il s'agit d'en extraire une solution. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser aussi l'approche numérique afin de faire porter prioritairement l'attention des étudiants sur l'interprétation et la discussion des résultats plutôt que sur une technique d'obtention. Cette approche permet en outre une modélisation plus fine du monde réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est aussi l'occasion pour l'étudiant d'exploiter les compétences acquises en informatique. C'est enfin l'opportunité de mener avec le professeur de mathématiques d'éventuelles démarches collaboratives.

Les liens de la physique et de la chimie avec les sciences de la vie et de la Terre doivent aussi être soulignés : les exemples choisis par le professeur pour illustrer les enseignements de physique et de chimie doivent être préférentiellement choisis en lien avec la biologie ou les sciences de la Terre. Là aussi c'est l'opportunité de mener d'éventuelles démarches collaboratives avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre.

Enfin l'autonomie de l'étudiant et la prise d'initiative sont développées à travers la pratique d'activités du type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à un questionnement ou atteindre un but.

Le programme est organisé en trois composantes :

1. la première décrit les compétences que la pratique de la démarche scientifique permet de développer à travers certaines de ces composantes : la **méthodologie expérimentale**, les **approches documentaires** et la **résolution de problème**. Ces compétences et les capacités associées doivent être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme ; elles continueront à l'être en seconde année ; leur acquisition feront donc l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
2. la deuxième, intitulée « **formation expérimentale** », présente les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin du cycle de formation. Leur mise en œuvre à travers les activités s'appuie sur les problématiques **identifiées en gras** dans la troisième partie et doit faire l'objet d'une programmation de la part du professeur.
3. la troisième concerne la « **formation disciplinaire** », elle décrit les connaissances et capacités que l'étudiant doit maîtriser pour l'essentiel à l'issue de chaque semestre. Elles sont organisées en deux colonnes : à chaque « notion ou contenu » de la première colonne correspond une ou plusieurs « capacités exigibles » de la seconde colonne. Cette dernière explicite ainsi le socle de capacités dont la maîtrise par tous les étudiants doit être la priorité absolue du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.
Pour faciliter la progressivité des acquisitions, au premier semestre on traite surtout de grandeurs physiques scalaires dépendant du temps et éventuellement d'une variable d'espace ; et on réserve l'introduction de grandeurs physiques vectorielles au deuxième semestre.
Certains items de cette troisième partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche documentaire.

Mise en œuvre de la démarche scientifique

1. Méthodologie expérimentale

La physique et la chimie sont des sciences à la fois théoriques et expérimentales. Ces deux composantes de la démarche scientifique s'enrichissant mutuellement, leur intrication est un élément essentiel de son enseignement.

Ce programme fait donc une large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la partie I est consacrée. Compte tenu du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et de savoir-faire techniques. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.
- Le second concerne l'identification, tout au long du programme, dans la partie II (formation disciplinaire), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

Les expériences de cours et les séances de travaux pratiques, complémentaires, ne répondent donc pas tout à fait aux mêmes objectifs :

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.
- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée, et chaque fois que cela est possible transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la quantification des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

La liste de matériel jointe en annexe de ce programme précise le cadre technique dans lequel les étudiants doivent savoir évoluer en autonomie avec une information minimale. Son placement en annexe du programme, et non à l'intérieur de la partie dédiée à la formation expérimentale, est délibéré : il exclut l'organisation de séances de travaux pratiques dédiées à un appareil donné et centrées seulement sur l'acquisition des compétences techniques associées.

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

Les activités expérimentales en CPGE mobilisent les compétences spécifiques qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

Les compétences doivent être acquises à l'issue de la formation expérimentale en CPGE, le niveau d'exigence est naturellement à mettre en perspective avec celui des autres composantes du programme de la filière concernée. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les élèves et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation.

L'ordre de présentation de celles-ci ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence. Certaines ne sont d'ailleurs pas propres à la seule méthodologie expérimentale, et s'inscrivent plus largement dans la démarche scientifique, voire toute activité de nature éducative et formatrice (communiquer, autonomie, travail en équipe, etc.).

Compétence	Exemples de capacités (liste non exhaustive)
------------	--

S'approprier	- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale - énoncer une problématique d'approche expérimentale. - définir les objectifs correspondants.
Analyser	- formuler et échanger des hypothèses. - proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - proposer un modèle associé. - choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	- mettre en œuvre un protocole. - utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « Grandeurs et instruments », avec aide pour tout autre matériel. - mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	- exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - analyser les résultats de manière critique. - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	- à l'écrit comme à l'oral : - o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ; - o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; - o s'appuyer sur des schémas, des graphes adaptés. - faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Être autonome, faire preuve d'initiative	- travailler seul ou en équipe. - solliciter une aide de manière pertinente. - s'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

Concernant la compétence « **Communiquer** », l'aptitude à rédiger un compte-rendu écrit constitue un objectif de la formation. Dans ce cadre, doivent être développées les capacités à définir la problématique du questionnement, à décrire les méthodes, en particulier expérimentales, utilisées pour y répondre, à présenter les résultats obtenus et l'exploitation, graphique ou numérique, qui en a été faite, et à analyser les réponses apportées au questionnement initial et leur qualité. Les activités expérimentales sont aussi l'occasion de travailler l'expression orale lors d'un point de situation ou d'une synthèse finale par exemple. Le but est de préparer les étudiants de CPGE à la présentation des travaux et projets qu'ils auront à conduire et à exposer au cours de leur formation en école d'ingénieur et, plus généralement, dans le cadre de leur métier de chercheur ou d'ingénieur

La compétence « **Être autonome, faire preuve d'initiative** » est par nature transversale et participe à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences. Le recours à des activités s'appuyant sur les questions ouvertes est particulièrement adapté pour former les élèves à l'autonomie et l'initiative.

2. Résolution de problèmes

Dans l'acquisition de l'autonomie, la « résolution de problème » est une activité intermédiaire entre l'exercice cadré qui permet de s'exercer à de nouvelles méthodes, et la démarche par projet, pour laquelle le but à atteindre n'est pas explicite. Cette activité est adaptée tant à une évaluation écrite où l'étudiant progresse en complète autonomie qu'à une évaluation orale pouvant s'enrichir d'une interaction avec un examinateur qualifié.

Il s'agit pour l'étudiant de mobiliser ses connaissances, capacités et compétences afin d'aborder une situation dans laquelle il doit atteindre un but bien précis, mais pour laquelle le chemin à suivre n'est pas indiqué. Ce n'est donc pas un « problème ouvert » pour lequel on soumet une situation en demandant « Que se passe-t-il ? ». L'objectif à atteindre doit être clairement donné et le travail porte sur la démarche à suivre, l'obtention du résultat et son regard critique.

La résolution de problème permet de se confronter à des situations où plusieurs approches sont possibles, qu'il s'agisse de la méthode mise en œuvre ou du degré de précision recherché. Ces situations se prêtent bien à une résolution progressive pour laquelle un premier modèle permettra d'obtenir rapidement un résultat, qui sera ensuite discuté et amélioré. Cette résolution étagée doit permettre à tous les élèves d'aborder le problème selon leur rythme en s'appuyant sur les compétences qu'ils maîtrisent.

C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème. La résolution de problème mobilise les compétences qui figurent dans le tableau ci-dessous. Des capacités associées sont explicitées afin de préciser les contours de chaque compétence, elles ne constituent donc pas une liste exhaustive et peuvent parfois relever de plusieurs domaines de compétences.

S'approprier le problème	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue (réaction chimique voisine ...).
Établir une stratégie de résolution (analyser)	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois qui seront utilisées, le type de réaction mise en œuvre, ...
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Communiquer par écrit ou par oral la solution trouvée afin d'expliquer le raisonnement et les résultats.
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, autre voie de synthèse...).
	Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.

Des possibilités d'articulation entre la résolution de problème et les autres types de compétences développées existent :

- en lien avec les incertitudes : évaluer ou déterminer la précision de la solution proposée, notamment lorsqu'il s'agit d'une solution approchée sans la surestimer ni la sous estimer ; déterminer ce qu'il faudrait faire pour améliorer la précision d'un résultat.
- en lien avec l'analyse de documents : analyser de manière critique un texte dont l'objet est scientifique ou technique, en mobilisant ses connaissances, notamment sur les valeurs quantitatives annoncées ; vérifier la cohérence des chiffres proposés en développant un modèle simple ; vérifier à l'aide d'un document technique, d'une photographie ... le résultat d'une modélisation.
- en lien avec la démarche expérimentale : l'approche « résolution de problème » peut se prêter à des activités expérimentales pour lesquelles une tâche précise sera demandée sans que la méthode ne soit donnée. Par exemple : mesurer une quantité physique donnée, comparer deux grandeurs, mettre en évidence un phénomène ... ; la vérification d'une modélisation peut être effectuée en réalisant l'expérience (en prédisant quantitativement l'issue d'une expérience, puis en effectuant les mesures pour vérifier les valeurs prédites).
- en lien avec les compétences de communication écrite et de communication orale : adapter le niveau de sa prestation à ses capacités personnelles ; utiliser le support graphique et numérique comme soutien de son argumentation ; rédiger de manière concise et directe une solution qui a souvent été trouvée par un long cheminement ; développer avec conviction une argumentation claire et progressive ; interagir avec un interlocuteur qualifié et faire preuve de réactivité.

3. Approches documentaires

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information afin de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne « capacités exigibles » relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" : histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, contribution des sciences à des questions sociétales ou au développement industriel... Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Elles reposent sur l'utilisation d'articles de revues scientifiques spécialisées ou de vulgarisation, de documents extraits de sites institutionnels ou reconnus par la communauté scientifique, d'ouvrages scientifiques de référence, ou encore sur une vidéo, une photo ou un document produit par le professeur. Elle sensibilise également les étudiants à la diversité des supports de l'information, et au crédit que l'on peut accorder à une information.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

4. Usage de la liberté pédagogique

Le programme indique les objectifs de formation à atteindre pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. Comme le rappellent les programmes du lycée, la liberté pédagogique de l'enseignant est le pendant de la liberté scientifique du chercheur.

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

1. pédagogue, il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances et des capacités sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
2. didacticien, il doit savoir recourir à la mise en contexte des connaissances et des capacités : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées. L'enseignant peut ainsi avoir intérêt à mettre son enseignement « en culture » si cela rend sa démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

Partie I : Formation expérimentale

Cette partie, spécifiquement dédiée à la méthodologie expérimentale lors des séances de travaux pratiques, vient compléter la liste des thèmes d'étude – en gras dans le reste du programme – à partir desquels la problématique d'une séance peut être définie.

Le **bloc A** précise les connaissances et savoir-faire qui doivent être acquis dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes, dans la continuité de la nouvelle épreuve d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) de Terminale S, avec cependant un niveau d'exigence plus élevé qui correspond à celui des deux premières années d'enseignement supérieur.

Le **bloc B** présente de façon détaillée l'ensemble des capacités expérimentales qui doivent être acquises et pratiquées en autonomie par les étudiants à l'issue de leur première année de CPGE.

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

A. Mesures et incertitudes

Pour pratiquer une démarche expérimentale autonome et raisonnée, les étudiants doivent posséder de solides connaissances et savoir-faire dans le domaine des mesures et des incertitudes : celles-ci interviennent aussi bien en amont au moment de l'analyse du protocole, du choix des instruments de mesure..., qu'en aval lors de la validation et de l'analyse critique des résultats obtenus.

Les étudiants doivent avoir conscience de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure, en connaître les origines, et comprendre et s'approprier ainsi les objectifs visés par l'évaluation des incertitudes. Les compétences acquises pourront être réinvesties dans le cadre des travaux d'initiative personnelle encadrés.

Les notions explicitées ci-dessous sur le thème « mesures et incertitudes » s'inscrivent dans la continuité de celles abordées dans les programmes du cycle terminal des filières scientifiques du lycée général et technologique. Les objectifs sont identiques, certains aspects sont approfondis : utilisation du vocabulaire de base de la métrologie, connaissance de la loi des incertitudes composées, ... ; une première approche sur la validation d'une loi physique est proposée. Les compétences identifiées sont abordées dès la première année et doivent être maîtrisées à l'issue des deux années de formation. Les activités expérimentales permettent de les introduire et de les acquérir de manière progressive et authentique. Elles doivent régulièrement faire l'objet d'un apprentissage intégré et d'une évaluation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Erreur ; composante aléatoire et composante systématique de l'erreur.	Utiliser le vocabulaire de base de la métrologie : mesurage, valeur vraie, grandeur d'influence, erreur aléatoire, erreur systématique. Identifier les sources d'erreurs lors d'une mesure.
Notion d'incertitude, incertitude-type.	Savoir que l'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la grandeur mesurée.
Évaluation d'une incertitude-type.	Procéder à l'évaluation de type A de l'incertitude-type (incertitude de répétabilité). Procéder à l'évaluation de type B de l'incertitude-type dans des cas simples (instruments gradués) ou à l'aide de données fournies par le constructeur.
Incertitude-type composée.	Évaluer l'incertitude-type d'une mesure obtenue à l'issue de la mise en œuvre d'un protocole présentant plusieurs sources d'erreurs indépendantes dans les cas simples d'une expression de la valeur mesurée sous la forme d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient ou bien à l'aide d'une formule fournie ou d'un logiciel. Comparer les incertitudes associées à chaque source

Incertitude élargie.	d'erreurs. Associer un niveau de confiance de 95 % à une incertitude élargie.
Présentation d'un résultat expérimental.	Exprimer le résultat d'une mesure par une valeur et une incertitude associée à un niveau de confiance. Présenter une valeur à l'aide de la notation scientifique adaptée à la précision des mesures et/ou des données.
Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.	Utiliser un logiciel de régression linéaire. Expliquer en quoi le coefficient de corrélation n'est pas un outil adapté pour juger de la validité d'un modèle linéaire. Juger qualitativement si des données expérimentales avec incertitudes sont en accord avec un modèle linéaire. Extraire à l'aide d'un logiciel les incertitudes sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine dans le cas de données en accord avec un modèle linéaire.

B. Méthodes expérimentales

Cette partie présente l'ensemble des méthodes expérimentales que les étudiants doivent acquérir au cours des deux années durant les séances de travaux pratiques. Les capacités sont acquises plus particulièrement en liaison avec un thème du programme, ce qui ne constitue pas une incitation à limiter une activité expérimentale à un seul thème.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Mesure de longueur	Mettre en œuvre une mesure de longueur sur un banc d'optique.
2. Mesure d'un signal électrique Mesure directe d'une tension au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope. Mesure d'une intensité : - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure d'une résistance : - mesure directe à l'ohmmètre ; - mesure indirecte au voltmètre sur un diviseur de tension.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : Distinguer les modes AC et DC. Définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête...) Choisir un calibre adapté en lien avec le nombre de chiffres affichés (nombre de points de mesure). Être informé des problèmes de masse.
3. Visualisation d'une image optique	
Formation d'une image.	Éclairer un objet de manière adaptée. Reconnaître la nature convergente ou divergente d'une lentille. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement ...). Mesurer la distance focale d'une lentille convergente. Produire un faisceau de lumière parallèle en utilisant

	l'autocollimation.
4. Mesure en thermodynamique Mesure d'une température. Effectuer des bilans d'énergie.	Mettre en œuvre un capteur de température. Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
5. Prévention du risque chimique Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes des produits chimiques. Phrases H et P.	Respecter les règles de sécurité. Relever les indications sur le risque associé à la manipulation des produits chimiques et à sa prévention.
6. Impact environnemental Traitement et rejet des déchets chimiques.	Éliminer les composés chimiques de façon adaptée. Choisir, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.
7. Méthodes de titrage et mesures cinétiques Réalisation d'un titrage volumétrique direct ou indirect à l'aide d'indicateur coloré de fin de titrage. Tracé et exploitation d'une courbe de titrage acido-basique. Détermination d'une constante thermodynamique . Spectrophotométrie. Suivi cinétique d'une réaction chimique par prélèvement ou in situ.	Effectuer un titrage. Choisir l'indicateur coloré adapté. Déterminer la quantité de matière du réactif titré. Utiliser le conductimètre. Étalonner et utiliser le pH-mètre. Déterminer un pK_a . Choisir la longueur d'onde et la gamme d'absorbance adaptées. Réaliser une courbe d'étalonnage et l'exploiter. Relier la grandeur mesurée à une modélisation cinétique afin de la valider et d'en extraire les constantes caractéristiques. Utiliser un bain thermostaté.
8. Synthèse et analyse Synthèse d'un produit organique : - utiliser un montage à reflux. Extraction d'un produit du milieu réactionnel : - extraire par lavage et décantation. - filtrer sous vide. - évaporer sous vide. - séparer par entraînement à la vapeur. Purification d'un produit : - distiller sous pression atmosphérique ; - recristalliser. Identification et vérification de la pureté : - prendre un point de fusion ; - mesurer un pouvoir rotatoire ; - réaliser une chromatographie sur couche mince ; - analyser des spectres RMN et IR fournis.	Réaliser en autonomie un montage de synthèse organique. Proposer et mettre en œuvre la technique appropriée à la nature du produit à extraire.

Partie II : Formation disciplinaire

Les thèmes traités en première année

L'enseignement de physique-chimie est organisé en **thèmes**, poursuivant des objectifs de formation décrits par des notions et des capacités exigibles. Dans les thèmes, les illustrations et les exemples s'appuient sur la vie quotidienne, la recherche ou l'histoire des sciences, en balayant les domaines du vivant, de l'environnement ou de l'industrie. La première année est rythmée par dix thèmes, répartis entre les deux semestres, pour lesquels est donnée à titre indicatif une estimation du temps à consacrer.

Semestre 1	I. Thermodynamique chimique	14 h
	II. Signaux physiques, bilans et transports	17 h
	III. Structure de la matière	12 h
	IV. Optique géométrique	6 h
	V. Introduction à la chimie organique	10 h
	VI. Thermodynamique	13 h
Semestre 2	VII. Thermodynamique	17 h
	VIII. Cinétique chimique	13 h
	IX. Mécanique	20 h
	X. Chimie organique réactionnelle	18 h

Chaque thème poursuit des objectifs de formation spécifique et de transférabilité des compétences acquises. Les **activités documentaires et expérimentales sont précisées au regard des notions et capacités exigibles**, mais leur mise en œuvre est laissée à l'**appréciation pédagogique** du professeur, qui détermine notamment le choix des études de cas. Les techniques d'analyse et de synthèse contenues dans les attendus de la formation sont également précisées dans le corps du programme.

Chaque thème comporte une brève introduction, qui fixe le cadre et les limites d'étude, suivie d'un tableau qui détaille les connaissances et capacités associées. Les notions abordées, qui doivent être connues des étudiants, figurent dans la colonne de gauche. La colonne de droite précise et encadre les capacités exigibles relatives à chaque notion.

En outre l'étudiant doit savoir utiliser l'analyse dimensionnelle.

Notions	Capacités exigibles
Analyse dimensionnelle.	Vérifier l'homogénéité d'une expression littérale à partir d'une analyse dimensionnelle des termes présents. Définir un ordre de grandeur (durée, longueur) par analyse dimensionnelle d'une équation modélisant un phénomène.

Premier semestre

I. Thermodynamique chimique : un système tend à évoluer vers l'équilibre.

L'enseignement de thermodynamique chimique est consacré à l'introduction des notions permettant l'analyse des systèmes chimiques homogènes. L'équilibre chimique est introduit comme une donnée expérimentale, et l'existence d'une constante d'équilibre est admise. Les applications sont illustrées par l'étude des réactions acido-basiques et d'oxydoréduction en solution aqueuse.

L'enseignement d'oxydoréduction vise essentiellement à introduire l'oxydation et la réduction en chimie organique, en lien avec le cours de Sciences de la Vie et de la Terre. Il n'induit pas de développement théorique ; les potentiels standard sont interprétés comme une simple échelle de la force des oxydants et des réducteurs, par analogie avec l'échelle des pK_a . Les exemples privilégiés sont en relation avec la biologie, l'agronomie, l'agroalimentaire, l'environnement ou la géochimie.

La partie expérimentale est consacrée à la réalisation et l'interprétation de titrages directs et indirects. Les techniques usuelles de la chimie analytique (prise de volume, pesée, réalisation du montage, utilisation des appareils à l'aide d'une notice simplifiée) doivent être maîtrisées, afin d'amener progressivement les

étudiants à une prise d'autonomie dans l'élaboration et la réalisation de protocoles expérimentaux. Les limites des lois expérimentales sont présentées qualitativement.

Notions	Capacités exigibles
1. Description d'un système chimique en réaction Avancement d'une réaction chimique ; degré d'avancement. Activité ; quotient de réaction. Évolution et équilibre. Transformation quantitative ou limitée.	Écrire un tableau d'avancement. Prévoir le sens d'évolution d'un système. Déterminer la composition à l'état final. Les outils numériques ou graphiques peuvent être un support à la résolution lorsque la méthode analytique n'est pas aisée. Établir une hypothèse sur l'état final d'une réaction connaissant l'ordre de grandeur de la constante d'équilibre.
2. Réactions acido-basiques Couples acide-base ; acides et bases faibles et forts, constante d'acidité, pH, courbes de distribution et diagrammes de prédominance. Réaction prépondérante. Détermination du pH d'une solution dans des cas simples et réalistes. Tampons acido-basiques. Application aux acides aminés.	Comparer la force des acides et des bases. Lire et exploiter un diagramme de courbes de distribution. Identifier la réaction prépondérante à partir de la composition initiale. Poser les hypothèses adaptées dans le but d'établir la composition d'une solution à l'équilibre. Calculer le pH d'une solution dans le cas d'une unique réaction prépondérante. Établir l'expression littérale du pH en fonction de la concentration initiale dans les cas suivants : acide ou base fort dans l'eau, acide ou base faible en réaction limitée sur l'eau, ampholyte. Vérifier les hypothèses simplificatrices dans le cas d'un acide faible dans l'eau ou d'une base faible dans l'eau. Décrire le comportement d'un acide aminé en fonction du pH.
3. Réactions d'oxydoréduction Oxydant, réducteur, couples rédox ; pile électrochimique. Echelle des potentiels standard. Constante d'équilibre rédox.	Écrire les échanges électroniques pour les couples rédox en chimie organique et inorganique, en liaison avec le cours de biochimie. Utiliser sans démonstration l'expression de la constante d'équilibre en fonction des potentiels standard. Prédire le sens d'une réaction rédox. Déterminer la composition à l'équilibre dans le cas d'une unique réaction prépondérante.
4. Application à la chimie analytique Spectrophotométrie. Loi de Beer-Lambert et limite de validité. Conductimétrie. Expression de la conductivité en fonction des concentrations et limite de validité. pH-métrie.	Réaliser une mesure d'absorbance. Reconnaître une cellule de conductimétrie. Réaliser une mesure de conductivité. Choisir les électrodes adaptées à la mesure du pH.

Titrages direct et indirect.	Réaliser une mesure de pH. Utiliser un indicateur coloré de fin de titrage. Suivre un titrage par pH-métrie ou par conductimétrie. Reconnaître, à partir d'un protocole, la nature d'un titrage. Identifier la ou les équations du titrage et établir les relations entre quantités de matière. Utiliser des courbes de distribution simulées pour analyser un titrage. Calculer le pH aux points particuliers d'un titrage. Modéliser la courbe de titrage pH-métrique et conductimétrique dans un cas simple. Évaluer le caractère successif ou simultané des réactions dans le cas du titrage d'un mélange. Exploiter une courbe de titrage.
-------------------------------------	--

II. Signaux physiques, bilans et transports : les phénomènes de transport déterminent l'évolution temporelle et spatiale de grandeurs physiques.

Cet enseignement a pour but d'initier les étudiants aux concepts très généraux décrivant des systèmes en interaction avec le monde extérieur, par échange ou transport, en évitant tout développement théorique excessif. Il apparaît alors qualitativement que les grandeurs physiques ou signaux dépendent de variables de temps et/ou d'espace, et l'illustration en est donnée dans la continuité du programme de terminale. L'approche transversale des phénomènes de transport vise à mettre en évidence des analogies et à dégager les notions communes de flux, de différence de potentiel, de stock et de résistance. L'étude de circuits électriques simples sert de support, facilement mis en œuvre expérimentalement, à l'illustration de ces notions. Les exemples traités se rapportent aux circuits en régime continu et au régime transitoire du premier ordre, dont le circuit RC constitue le modèle. Des notions de base sur la mesure électrique et sur l'oscilloscope sont nécessaires à l'illustration expérimentale du régime transitoire, mais elles ne sont pas destinées à être étudiées pour elles-mêmes ; seuls les modes de fonctionnement usuels de l'oscilloscope sont présentés.

Notions	Capacités exigibles
1. Signaux physiques Acquisition et traitement de signaux dépendant du temps. Composition de signaux sinusoïdaux. Signal dépendant du temps et d'une coordonnée de l'espace.	Extraire une fréquence. Identifier les régimes permanent, stationnaire, transitoire. Estimer le temps caractéristique d'un signal transitoire. Interpréter le résultat d'une analyse spectrale. Approche documentaire : étudier un exemple d'onde sonore ou d'onde sismique.
2. Bilan macroscopique Volume de contrôle et surface de contrôle. Grandeur intensive et grandeur extensive. Bilan de charge, de matière, d'énergie : Flux de charge, de matière et d'énergie. Équation de bilan avec ou sans création. Loi des nœuds.	Délimiter un système. Reconnaître un système isolé, fermé, ouvert. Définir l'intensité du courant électrique comme débit de charges. Établir un bilan macroscopique.

3. Transport Relation entre flux et différence de potentiel. Transport linéaire : résistance électrique, thermique. Association de résistances en série et en parallèle.	Relier un flux de charge, de chaleur, de matière à une différence, respectivement, de potentiel électrique, de température, de composition. Interpréter le sens du transport. Remplacer une association série ou parallèle de plusieurs résistances par une résistance équivalente.
4. Circuit dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires Tension aux bornes d'un dipôle. Loi des mailles. Sources décrites par un modèle linéaire. Montages diviseurs de tension et de courant. Puissance électrique. Transport thermique et de transport de matière en régime stationnaire.	Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Appliquer les lois de Kirchhoff. Modéliser une source non idéale par un modèle de Thévenin ou de Norton. Reconnaître un diviseur de tension ou de courant dans un montage. Mesurer l'impédance d'entrée d'un oscilloscope. Calculer la puissance électrique et reconnaître le comportement récepteur ou générateur d'un dipôle dans un circuit. Exprimer la puissance électrique dissipée par effet Joule. Faire l'analogie entre le transport thermique ou le transport de matière d'une part et le transport de charges d'autre part.
5. Régimes transitoires du premier ordre Condensateurs. Modélisation des régimes transitoires par un circuit RC. Stockage et dissipation de l'énergie.	Relier la tension et la charge, et la tension et l'intensité pour un condensateur. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur. Interpréter la continuité de la tension aux bornes du condensateur. Analyser le comportement d'un condensateur en régime permanent. Etablir l'équation différentielle de la réponse d'un circuit RC à un échelon de tension et la résoudre. Réaliser un montage permettant de visualiser à l'oscilloscope la charge et la décharge d'un condensateur Maîtriser l'analogie entre le bilan d'énergie dans un circuit RC et un bilan particulaire ou thermique en régime transitoire.

III. Structure de la matière

Cet enseignement illustre, sans prétendre à l'exhaustivité, l'organisation de la matière de l'échelle atomique à l'échelle supramoléculaire. Il explicite des concepts sur la structure des atomes, dont la finalité est d'une part de présenter le phénomène de radioactivité et d'autre part de pouvoir lire et utiliser la classification

périodique. La structure des molécules est envisagée sous le seul formalisme de Lewis, et leur géométrie dans le cadre du modèle de Gillespie. Les propriétés électroniques des molécules sont traitées dans le but d'interpréter la structure et la réactivité en chimie organique et en biochimie. Selon la même démarche, l'étude des interactions intermoléculaires constitue essentiellement un support à l'interprétation qualitative de protocoles expérimentaux en chimie organique, mais il accompagne également les notions vues en sciences de la vie et de la Terre.

Notions	Capacités exigibles
1. Noyau atomique Composition. Isotopie. Stabilité des noyaux. Principe de la fission. Radioactivités α , β^+ , β^- et γ . Décroissance radioactive.	Commenter les ordres de grandeur des énergies mises en jeu dans les unités adaptées. Écrire le bilan d'une réaction nucléaire. Approche documentaire : mettre en évidence le rôle des isotopes radioactifs dans le domaine médical ou dans celui de la radioprotection.
2. Structure électronique des atomes Quantification de l'énergie dans les atomes ; lampes spectrales. Notion de fonction d'onde et densité de probabilité de présence ; application à l'électron. Nombres quantiques orbitaux. Représentation géométrique des OA s et p. Spin électronique ; nombre quantique de spin. Principe de Pauli. Règles de remplissage. Électrons de cœur et électrons de valence. Structure du tableau périodique ; familles. Électronégativité.	Interpréter l'existence des longueurs d'onde d'émission à l'aide d'un diagramme d'énergie. Déterminer à l'aide de la règle de Klechkowski la configuration électronique fondamentale d'un atome et en déduire celle de ses ions usuels. Construire un schéma de remplissage des sous-couches de valence et déterminer le nombre d'électrons célibataires Relier la structure électronique d'un élément et sa place dans la classification. Extraire des informations (Z, A, électronégativité ...) à partir d'une classification périodique légendée.
3. Liaison covalente Modèle de Lewis. Hypervalence du soufre et du phosphore. Géométrie des molécules en théorie VSEPR. Caractéristiques de la liaison covalente : longueur, énergie, polarité. Polarité des molécules.	Établir la structure de Lewis de molécules simples. Représenter les structures courantes de type AX_nE_m avec $n + m = 2 \text{ à } 6$ Commenter l'ordre de grandeur des longueurs de liaison. Comparer les densités de probabilité de présence et les énergies dans les liaisons sigma et pi. Déterminer si une molécule est polaire ou apolaire.
4. Délocalisation électronique et aromaticité Mésomérie. Conjugaison et conséquences structurales. Aromaticité ; critère de Hückel.	Écrire les formules résonnantes d'une molécule. Utiliser la mésomérie et la conjugaison pour interpréter la géométrie et la réactivité.
5. Interactions de faible énergie Interaction de Van der Waals. Liaison hydrogène ; directivité.	Comparer les ordres de grandeurs des énergies mises en jeu (liaison covalente, liaison hydrogène, liaison de Van der Waals). Approche documentaire : mettre en évidence l'importance des interactions de faible énergie pour

	la structure tridimensionnelle des molécules ou des systèmes biologiques.
--	---

IV. Optique géométrique

L'enseignement d'optique géométrique vise à sensibiliser les élèves aux principes fondamentaux de la propagation de la lumière, en vue de reconnaître les phénomènes lumineux et de comprendre le fonctionnement des instruments d'optique utilisés dans la vie courante et en biologie. Cet enseignement est fortement adossé à la pratique expérimentale qui repose sur l'utilisation de nombreux dispositifs.

Notions	Capacités exigibles
1. Lois de Descartes Propagation de la lumière dans un milieu transparent, homogène et isotrope. Indice optique. Notion de rayon lumineux. Lois de Descartes pour la réflexion et la réfraction. Miroir plan ; stigmatisme et aplanétisme.	Relier l'indice optique et la vitesse de propagation dans le milieu. Utiliser le principe du retour inverse de la lumière. Etablir la condition de réflexion totale. Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
2. Lentilles minces Conditions de Gauss. Lentilles minces : centre, foyers principaux, plans focaux, distance focale, vergence. Formule de conjugaison avec origine au centre. Grandissement transversal. L'œil : modèle optique, notion de punctum remotum et de punctum proximum.	Enoncer les conditions permettant un stigmatisme et un aplanétisme approché. Relier un objet et son image (situés à distance finie ou infinie) à l'aide des rayons. Maîtriser les notions d'objet et d'image virtuels. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal pour des systèmes à une ou deux lentilles. Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de focale variable et d'un capteur fixe. Interpréter les défauts de l'œil, et leur correction.
3. Visualisation d'une image optique Formation d'une image. Focométrie. Réalisation de montages.	Éclairer un objet de manière adaptée. Reconnaître le caractère divergent ou convergent d'une lentille, et évaluer sommairement la distance focale d'une lentille convergente. Mesurer la distance focale d'une lentille convergente. Utiliser le principe d'autocollimation. Réaliser en autonomie un montage permettant de visualiser un objet proche ou éloigné.

V. Introduction à la chimie organique

Cette partie introductive à la chimie organique reste descriptive, l'aspect mécanistique des réactions n'étant abordé qu'au deuxième semestre. Les compléments de stéréochimie s'inscrivent dans la continuité des notions introduites en classe de terminale. L'importance de la structure tridimensionnelle des molécules est illustrée par d'exemples tirés du monde du vivant.

Le chapitre sur les solvants est l'occasion de sensibiliser les étudiants aux problèmes de toxicité humaine et environnementale et à la notion de chimie verte.

La présentation des différentes fonctions chimiques permet d'avoir une vue d'ensemble des groupes fonctionnels les plus courants qui seront rencontrés dans la suite du cours. L'utilisation de données spectroscopiques (UV visible, infra-rouge et résonance magnétique nucléaire du proton), s'appuie sur les connaissances acquises en Terminale.

Notions	Capacités exigibles
1. Stéréochimie Ecriture semi-développée et topologique. Représentation spatiale des molécules : Cram, Newman, perspective. Conformations des alcanes linéaires et du cyclohexane. Glucopyranoses ; anomérie ; existence de la mutarotation du glucose. Carbone asymétrique, chiralité, énantiomérisation, diastéréoisomérie. Descripteurs stéréochimiques Z/E, R/S, D/L Activité optique, pouvoir rotatoire, loi de Biot. Mélange racémique.	Représenter une molécule à partir de son nom, en tenant compte d'informations stéréochimiques, dans un type de représentation donnée. Discuter la stabilité relative de deux conformations d'un alcane. Représenter le conformère le plus stable d'un cyclohexane monosubstitué. Manipuler des modèles moléculaires. Déterminer si une molécule est chirale Identifier les relations de stéréoisomérie entre deux composés. Comparer les propriétés de deux stéréoisomères de configuration, en milieu chiral et non chiral. Déterminer les descripteurs stéréochimiques dans les cas simples. Utiliser la loi de Biot pour discuter de la pureté énantiomérique d'un mélange. Illustrer l'importance de la structure spatiale par des exemples tirés du monde du vivant. Approche documentaire : illustrer et analyser le rôle de la diastéréoisomérie lors de synthèses énantiosélectives, de séparations d'énantiomères et dans le monde du vivant.
2. Solvant Rôle du solvant. Exemples : solvants apolaires, polaire aprotique et polaire protique	Faire le lien entre les propriétés du solvant et les interactions intermoléculaires. Interpréter qualitativement la méthode de l'extraction liquide-liquide. Approche documentaire : expliciter le choix du solvant en faisant un lien à la toxicité et donner une illustration dans le domaine de la chimie verte.
3. Acido-basicité et oxydo-réduction en chimie organique Échelle de pK_a généralisée. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique. Présentation des principales fonctions organiques par degré d'oxydation : - halogénoalcanes, alcools, alcènes, - composés carbonyles, - acides carboxyliques et dérivés.	Connaître l'utilisation de solvants autre que l'eau pour former des bases fortes. Connaître le caractère acide ou basique de : acide carboxylique, alcool, amine, H en α de groupe électroattracteur. Écrire l'équation-bilan de la formation d'un alcoolate par action du sodium ou de l'ion hydroxyde.

Chaine d'oxydation des alcools.	Distinguer oxydation complète et oxydation ménagée. Écrire les équations-bilan d'oxydation : - d'un alcool primaire en aldéhyde, - d'un aldéhyde en acide carboxylique, - d'un alcool secondaire en cétone.
Dihydroxylation des alcènes. Coupure oxydante des alcènes..	Écrire l'époxyde obtenu par action d'un acide peroxycarboxylique sur un alcène Écrire le diol obtenu par ouverture d'un époxyde en milieu basique. Écrire le diol obtenu par action du permanganate sur un alcène. Écrire le bilan de la coupure oxydante par action de l'acide périodique sur un diol.
Exemples de réducteurs utilisés en chimie organique.	Écrire l'équation-bilan de la réduction d'un composé carbonylé en alcool par NaBH_4 . Écrire l'équation-bilan de réduction d'un alcène en alcane par H_2 et déterminer les stéréoisomères obtenus.

VI. Thermodynamique

L'enseignement de thermodynamique fait suite à celui consacré aux échanges et aux transports. A partir d'une description des états de la matière et des transformations qu'elle subit, il formalise les échanges d'énergie et contribue à les évaluer. Cet enseignement s'organise en deux parties distinctes. La première, dispensée au premier semestre, est consacrée à la description des états de la matière et des paramètres qui la caractérise. La seconde, dispensée au second semestre, propose, d'une part, une présentation plus étoffée du premier principe dont l'introduction à déjà été réalisée en classe de terminale, et d'autre part formalise les notions d'irréversibilité et de réversibilité à l'aide du second principe. Afin de limiter l'utilisation de fonctions de plusieurs variables, les deux principes sont appliqués en première année aux transformations thermodynamiques de phases condensées et aux machines thermiques. C'est l'occasion de réaliser des bilans macroscopiques sur des systèmes modèles. L'objectif est là de dégager le concept de rendement et de sensibiliser l'étudiant à l'impact énergétique d'un dispositif domestique ou industriel.

Notions	Capacités exigibles
1. États de la matière	
Phases condensées et phases gazeuses.	Identifier le caractère peu compressible et peu dilatable des phases condensées. Comparer les ordres de grandeurs caractéristiques des gaz et des phases condensées.
Notion de température absolue.	Utiliser les échelles de température absolue et de température Celsius.
Modèle du gaz parfait. Mélange idéal de gaz parfaits. Fraction molaire et pression partielle.	Utiliser l'équation d'état du gaz parfait. Représenter les isothermes en coordonnées de Clapeyron. Interpréter qualitativement le modèle du gaz parfait, sa pression et sa température à l'échelle moléculaire.
Gaz réel.	Faire le lien avec les interactions de faible énergie.
2. Éléments de statique des fluides	
Pression dans un fluide en équilibre.	Utiliser la relation $dP = -\rho g dz$ pour un fluide incompressible ou compressible dans une atmosphère isotherme, dans un champ de pesanteur uniforme.

3. Changements d'état du corps pur Diagramme de phases en coordonnées (T,P) ; point critique et point triple. Pression de vapeur saturante. Variance. Changement d'état liquide-vapeur ; diagramme (P,V) ; isothermes. Titre en vapeur. Théorème des moments.	Approche documentaire : illustrer des applications des changements d'état dans les domaines biologiques, géologiques ou dans l'industrie. Interpréter le diagramme (P,V) selon la variance. Interpréter qualitativement le palier de température associé au changement d'état isobare Calculer à partir d'un diagramme la composition d'un mélange liquide-vapeur à l'équilibre.
---	--

Deuxième semestre

VII. Thermodynamique

Notions	Capacités exigibles
4. Équilibre et transformations thermodynamiques d'un système fermé Équilibre thermodynamique. Transformations thermodynamiques. Réversibilité d'une transformation. Travail et transfert thermique ; puissance mécanique et puissance thermique. Thermostat.	Interpréter les conditions d'équilibre thermique et mécanique. Maîtriser le vocabulaire usuel : isotherme, isobare, isochore, monobare, monotherme, adiabatique. Déterminer l'état d'équilibre final à partir des contraintes imposées par le milieu extérieur. Dégager les critères de réversibilité d'une transformation. Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.
5. Premier principe de la thermodynamique en système fermé Contributions à l'énergie d'un système : énergie interne, énergie cinétique macroscopique et énergie potentielle macroscopique. Énergie interne molaire et massique d'une phase condensée Capacité thermique à volume constant. Premier principe en système fermé : $\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = Q + W$ Calorimétrie.	Relier l'énergie interne à la température pour une phase condensée. Formuler le premier principe en termes de puissance et sous forme d'un bilan élémentaire. Réaliser un bilan à partir d'une expérience de calorimétrie.
6. Second principe de la thermodynamique en système fermé	

Entropie ; entropie massique et entropie molaire. Second principe en système fermé ; entropie d'échange ; entropie créée : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créé}}$ Identité thermodynamique. Entropie molaire et massique d'une phase condensée.	Interpréter qualitativement l'entropie. Relier la création d'entropie au caractère réversible ou irréversible de la transformation. Relier l'entropie à la température pour une phase condensée. Exprimer et calculer une entropie d'échange et une entropie de création pour une transformation simple.
7. Machines thermiques Machines dithermes réversibles et irréversibles. Moteur thermique, rendement, théorème de Carnot. Efficacité, principe d'une pompe à chaleur et d'un appareil frigorifique.	Distinguer les sources réelles et les sources idéales. Analyser le fonctionnement d'une machine ditherme sur un diagramme (T,S). Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme. Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot. Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles. Relier les concepts aux dispositifs d'usage courant.

VIII. Cinétique chimique

L'enseignement de cinétique s'inscrit dans le cadre plus large de l'évolution temporelle des systèmes. Il prend appui sur des exemples dans les domaines biologiques et géologiques, mettant en jeu des échelles de temps très variées.

Les éléments de cinétique formelle induisent l'usage d'un formalisme mathématique rigoureux, et la nécessité d'une confrontation du modèle avec des données expérimentales. La résolution analytique se limite aux cas les plus simples de réactions d'ordre 0, 1 et 2, des cas plus complexes devant être traités à l'aide de l'outil numérique.

Cet enseignement permet de réinvestir des compétences expérimentales par le recours aux techniques d'analyse et d'utiliser le formalisme du tableau d'avancement pour le suivi cinétique de la réaction.

La présentation des mécanismes réactionnels, limités aux réactions par stades, est l'occasion de mettre en évidence les notions de catalyse et de catalyseur. En lien avec la chimie organique, cet enseignement présente les notions essentielles d'état de transition, d'intermédiaire réactionnel, de postulat de Hammond et de contrôles thermodynamique et cinétique.

Notions	Capacités exigibles
1. Vitesse de réaction Vitesses d'apparition et de disparition ; vitesse spécifique de réaction. Temps de demi-réaction. Ordre de réaction ; réaction avec et sans ordre. Constante de vitesse ; loi d'Arrhenius et énergie d'activation. Détermination d'un ordre.	Utiliser la vitesse volumique pour un réacteur à volume constant. Faire l'analogie avec la loi de décroissance radioactive. Déduire l'énergie d'activation à partir d'une série de données par une méthode graphique ou numérique. Déterminer par une méthode graphique ou numérique : - un ordre à l'aide de la méthode différentielle et à l'aide de la méthode intégrale, - un ordre à partir de données sur les temps de demi-réaction,

	- un ordre global dans un cas de mélange stœchiométrique, - un ordre partiel dans un cas de dégénérescence de l'ordre. Etudier des réactions d'ordre 1 et 2 pour en extraire les ordres partiels, la constante de vitesse et l'énergie d'activation.
2. Mécanismes réactionnels Acte élémentaire et molécularité. Intermédiaires réactionnels ioniques et radicalaires. Étape cinétiquement déterminante, approximation des états quasi-stationnaires, pré-équilibre rapide. Chemin réactionnel et profil réactionnel. Contrôle thermodynamique et contrôle cinétique. Postulat de Hammond	Faire la différence entre un bilan macroscopique et un acte élémentaire. Retrouver le bilan réactionnel à partir d'un mécanisme par stades. Établir une loi de vitesse à partir d'un mécanisme. Repérer un catalyseur dans un mécanisme. Distinguer intermédiaire réactionnel et état de transition. Approche documentaire : expliciter les conséquences du contrôle en synthèse.

IX. Mécanique

L'enseignement de mécanique a pour objet de présenter aux élèves les liens qui unissent les notions de force, de mouvement et d'énergie pour le système simple du point matériel. Reposant sur la maîtrise de grandeurs vectorielles dépendantes du temps, l'enseignement se limite à des modélisations simples dont la résolution formelle reste accessible aux étudiants. Les cas plus complexes, modélisant plus finement la réalité, sont abordés par l'utilisation de l'outil numérique et de logiciels d'intégration.

Notions	Capacités exigibles
1. Cinématique Référentiel. Vecteurs position, vitesse, accélération. Système de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques. Loi de composition des vitesses pour le cas de référentiels en translation rectiligne.	Choisir le système de coordonnées adapté à la symétrie. Utiliser les expressions des vecteurs position, vitesse et accélération dans le cas des coordonnées cartésiennes et, pour le mouvement circulaire, dans le cas des coordonnées cylindriques.
2. Dynamique Quantité de mouvement. Principe d'inertie, référentiel galiléen. Forces, principe des actions réciproques. Force d'interaction gravitationnelle, force d'interaction de Coulomb. Forces usuelles à l'échelle macroscopique : poids, force de rappel d'un ressort (en régime linéaire), tension d'un fil, force de frottement fluide, force subie par une charge dans un champ électrique.	Choisir un référentiel adapté au problème. Identifier quelques manifestations de ces interactions.

Deuxième loi de Newton.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel. L'utilisation de l'outil numérique permettra d'aider à leur résolution dans les cas complexes.
3. Énergie d'un point matériel	
Puissance et travail d'une force.	Distinguer force conservative et force non conservative.
Théorème de l'énergie cinétique.	Démontrer et utiliser le théorème de l'énergie cinétique.
Énergie potentielle et énergie mécanique dans un cas unidimensionnel.	Établir l'expression de l'énergie potentielle connaissant la force (dans le cas unidimensionnel). Distinguer le caractère attractif ou répulsif d'une force. Utiliser les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (dans un champ de pesanteur uniforme) et de l'énergie potentielle élastique.
Théorème de l'énergie mécanique.	Démontrer le théorème de l'énergie mécanique.
Mouvement conservatif à une dimension.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle la nature de la trajectoire possible : non bornée, bornée, périodique.
Position d'équilibre ; stabilité.	Déduire d'un graphe la position et la nature stable ou instable des positions d'équilibre
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable ; approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	Établir l'équation du mouvement à partir de l'énergie mécanique. Reconnaître l'équation d'un oscillateur harmonique non amorti. Relier la période et la dérivée seconde de l'énergie potentielle à l'équilibre.

X. Chimie organique réactionnelle

L'enseignement de chimie organique décline des familles de réactions plutôt que des familles de composés. De cette manière, il facilite le réinvestissement des connaissances de la classe de terminale sur la réactivité des composés organiques. Il poursuit l'objectif de fournir aux étudiants les outils permettant d'interpréter ou de prévoir la réactivité intermoléculaire dans des conditions données, celles d'un milieu biologique ou d'un milieu de synthèse. La chimie organique permet ainsi d'une part de comprendre des réactions intervenant dans des grands cycles métaboliques, d'autre part de sensibiliser les étudiants à la synthèse totale au laboratoire ou aux réactions industrielles, en gardant à l'esprit que la formation dispensée dans la filière BCPST reste généraliste. Les éléments d'interprétation d'une stratégie de synthèse sont renforcés par l'utilisation de données spectroscopiques (UV, visible, infra-rouge et résonance magnétique nucléaire du proton).

Notions	Capacités exigibles
1. Additions électrophiles sur les doubles liaisons C=C	Expliciter la réactivité des alcènes.
Bilan et mécanisme de l'addition de HX et H ₂ O. Régiosélectivité.	Utiliser le formalisme des flèches courbes pour décrire un mécanisme en chimie organique. Discuter de la stabilité d'un carbocation. Représenter le profil réactionnel. Utiliser le postulat de Hammond.

Bilan et mécanisme de la bromation par le N-bromosuccinimide et évolution en présence d'un nucléophile.	Mettre en évidence la stéréosélectivité et la stéréospécificité de la réaction.
2. Substitutions nucléophiles Nucléophile et nucléofuge. Les deux mécanismes limite : SN1 et SN2 pour les halogénoalcanes et les alcools Activation des alcools par H^+ et par le chlorure de tosyle Ouverture d'un époxyde en milieu basique.	Expliciter la réactivité des liaisons C-X et C-OH. Identifier les sites électrophiles et/ou nucléophiles d'une espèce chimique. Reconnaître des nucléophiles usuels : ion cyanure, ion alcoolate, amine, ion hydroxyde, eau. Discuter du mécanisme à partir de données cinétiques. Déterminer les stéréoisomères obtenus à l'issue d'une SN. Discuter de la compétition entre les deux mécanismes en fonction de la structure du carbocation. Représenter les profils réactionnels associés à chaque mécanisme Ecrire l'équation-bilan de l'action du chlorure de tosyle sur un alcool. Interpréter la stéréochimie de la dihydroxylation d'un alcène. Comparer les diols obtenus à partir d'un alcène via l'époxydation ou par action du permanganate.
3. Élimination Compétition entre SN et E. Régiosélectivité de l'élimination. Mécanismes limites E1 et E2 pour les halogénoalcanes et les alcools.	Reconnaître les conditions favorisant l'élimination : température, force et concentration de la base. Déterminer le produit majoritaire de l'élimination. Ecrire les stéréoisomères obtenus à l'issue d'une élimination.
4. Additions nucléophiles Bilan et mécanisme d'une addition nucléophile sur le groupe carbonyle suivie d'une hydrolyse Bilan et mécanisme de l'hémiacétalisation et de l'acétalisation	Expliciter la différence de réactivité de la double liaison C=O et de la double liaison C=C. Expliciter le caractère renversable de l'acétalisation. Utiliser l'acétalisation comme protection de groupe caractéristique.
5. Synthèse organique Règles de sécurité Techniques Chauffage à reflux. Addition d'un réactif au cours d'une réaction. Réaction en conditions anhydres. Suivi d'une réaction. Traitement d'un brut réactionnel.	Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit. Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire. Analyser et justifier les choix expérimentaux dans une synthèse organique. Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux. Utiliser une ampoule de coulée. Conduire une réaction en milieu anhydre. Réaliser une chromatographie sur couche mince. Réaliser les opérations suivantes : filtration

Séparation et purification.	sous pression atmosphérique ou réduite, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide. Mettre en œuvre la technique de relargage.
Rendement.	Mettre en œuvre une distillation fractionnée sous pression atmosphérique et une recristallisation. Définir et calculer le rendement d'une réaction.
Caractérisation	
Température de fusion, indice de réfraction, pouvoir rotatoire.	Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.
Lecture de spectres infra rouge.	Identifier des groupes caractéristiques à l'aide d'un spectre IR et d'une table fournie.
Lecture de spectres RMN : déplacement chimique, couplage scalaire, règle des n+1 uplets.	Retrouver la structure d'une molécule par l'analyse d'un spectre RMN du proton à l'aide d'une table fournie. Suivre une synthèse organique par la lecture de spectres RMN et infra-rouge.

Annexe : Matériel

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

1. Domaine optique

- banc d'optique.
- lentilles minces, miroirs plans.
- lampes spectrales et source de lumière blanche.

2. Domaine électrique

- oscilloscope numérique.
- générateurs de signaux continus et générateurs de signaux basse fréquence.
- multimètre numérique.

3. Domaine thermodynamique

- thermomètre, capteur infra-rouge.
- calorimètre.

4. Chimie physique et chimie des solutions

- balance de précision.
- verrerie usuelle graduée et jaugée.
- pH-mètre et électrodes adaptées.
- conductimètre et cellule conductimétrique.
- spectrophotomètre UV-visible.
- bain thermostaté.

- agitateur magnétique.

5. Chimie organique

- verrerie rodée : ballon, réfrigérant, ampoule de coulée isobare ou non.
- ampoule à décanter.
- montage de distillation à pression atmosphérique.
- matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.
- agitateur magnétique chauffant.
- chauffe ballon.
- banc Köfler.
- matériel pour chromatographie sur couche mince.
- lampe UV.
- modèles moléculaires.

ANNEXE 3

Programme de mathématiques BCPST1, version 8

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, soit au moyen des calculatrices soit 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 :

S'engager dans une recherche et mettre en œuvre des stratégies	Il s'agit d'analyser un problème, de se poser des questions, d'expérimenter sur des exemples, de formuler des conjectures.
Modéliser	C'est traduire un phénomène en langage mathématique, élaborer des concepts et des outils lors d'une phase d'abstraction ou de conceptualisation.
Représenter	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.
Raisonner et argumenter	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.
Calculer, manipuler des symboles et maîtriser le formalisme mathématique	C'est effectuer un calcul à la main ou à l'aide d'un instrument (calculatrice, logiciel), 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.
Communiquer à l'écrit et à l'oral	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.

Mises en œuvre dans des situations et contextes spécifiques, les diverses compétences peuvent être déclinées en un certain nombre de capacités. À titre indicatif, à la fin de chaque chapitre est dressée une liste non exclusive de quelques capacités susceptibles d'être exercées en situation sur certaines des connaissances décrites dans ce chapitre, et permettant d'observer *in situ* la réalisation de certaines des six compétences.

II – Programme de première année

1 – Préambule

Le programme de la filière BCPST se situe dans la continuité de la série S du lycée.

Les développements formels ou trop théoriques doivent être évités. Une place importante doit être faite aux applications, exercices, problèmes, en relation chaque fois que cela est possible 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.

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 l'interaction 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.

C'est ainsi que le programme valorise les interprétations des concepts de l'analyse, de l'algèbre linéaire, de la géométrie et des probabilités en termes de paramètres modélisant l'état et l'évolution de systèmes biologiques, physiques ou chimiques. Ces interprétations, conjointement avec les interprétations géométriques, viennent en retour éclairer les concepts fondamentaux de l'analyse, de l'algèbre linéaire ou des probabilités. Elles sont parfois signalées dans le texte par le symbole $\Leftrightarrow$, mais ce repérage n'est pas exhaustif.

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 K^n est demandée. L'espace vectoriel, comme objet général, n'est présenté 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) sans que la définition ait besoin d'être posée.

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 la classe de Troisième et poursuivie jusqu'en classe Terminale. Une reprise de notions de statistique descriptive, réparties dans divers programmes allant des classes de Cinquième à la classe de Première, sert de base pour une étude élémentaire de la régression linéaire (ou ajustement affine), technique fréquemment utilisée dans les sciences expérimentales. 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 an-

née, de même que la statistique inférentielle. Les diverses notions seront illustrées par des exemples issus de la vie courante ou des diverses sciences.

En cohérence avec l'introduction d'un enseignement d'algorithmique au lycée, le programme encourage la **démarche algorithmique** et le recours à l'outil informatique (calculatrices, logiciels) ; le maniement de ces outils fait partie intégrante de la formation.

Le programme est organisé en deux grandes parties de volume sensiblement équivalent, conçues pour être traitées dans l'ordre au cours de deux semestres ; en revanche, au sein de chaque partie, aucun ordre particulier n'est imposé. L'ordre proposé dans le présent programme assure une bonne cohérence dans l'apparition des nouveaux concepts, mais il n'est pas le seul possible.

2 – Programme du premier semestre

Outils 1 – Vocabulaire de la logique et des ensembles

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
a) Logique élémentaire 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.
b) Vocabulaire des ensembles 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, n -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 $\bar{A}$. Un élément de E^p sera 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.

Exemples de capacités : employer le langage de la théorie des ensembles pour communiquer avec précision ; traduire un énoncé en langue française en un énoncé symbolique ; maîtriser différentes formes de raisonnement.

Outils 2 – Nombres

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 **N**, **Z**, **Q**, **R** et **C** sont supposés connus.

Contenus	Commentaires
a) Nombres entiers Raisonnement par récurrence.	Lorsqu'un raisonnement par récurrence nécessite une hypothèse dite « forte », la formulation de cette hypothèse devra être proposée.
b) Nombres réels Intervalles. Valeur absolue. Partie entière. Exposants, racine carrée. Identités remarquables. Manipulation des inégalités. Résolutions d'équations et d'inéquations simples. Majorant, minorant, plus grand, plus petit élément d'une partie non vide de $\mathbf{R}$. Borne supérieure, borne inférieure.	On se limite à une simple description des différents types d'intervalles. Interprétation de la valeur absolue en termes de distance. On adopte la notation internationale $[\cdot]$ pour la partie entière afin de ne pas la confondre avec l'espérance. 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 $, $\sqrt{xy} = \sqrt{x} \sqrt{y}$. Les attendus se limitent aux formules suivantes (dans $\mathbf{R}$ ou $\mathbf{C}$) : $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$ Il s'agit d'une simple reprise des règles de calcul algébrique sur les inégalités. Il s'agit d'une reprise des types d'équations et inéquations abordées dans les classes antérieures. On admet l'existence de la borne supérieure d'une partie majorée non vide.
c) Nombres complexes Écriture algébrique d'un nombre complexe. Parties réelle et imaginaire. Propriétés élémentaires de Re et Im. Représentation géométrique d'un nombre complexe. Affixe d'un point, d'un vecteur. Interprétation géométrique de la somme de deux complexes. Conjugué d'un nombre complexe. Interprétation géométrique. Propriétés de la conjugaison. Module d'un nombre complexe. Interprétation géométrique. Propriétés du module : multiplicativité, inégalité triangulaire. Notation $e^{i\theta}$. Propriétés $ e^{i\theta} = 1$, $e^{i(\alpha+\beta)} = e^{i\alpha} \times e^{i\beta}$, $\overline{e^{i\theta}} = e^{-i\theta}$, $(e^{i\theta})^n = e^{in\theta}$, formules d'Euler. Arguments d'un nombre complexe non nul. Écriture exponentielle d'un nombre complexe non nul. Résolution des équations du second degré à coefficients réels. Somme et produit des racines.	L'utilisation des nombres complexes pour résoudre des problèmes de géométrie n'est pas un objectif du programme. On fait ressortir l'efficacité du formalisme de la conjugaison (par exemple pour montrer qu'un nombre complexe est réel ou imaginaire pur). Suivant les contextes, on choisit la formulation adéquate : $ z = \sqrt{z\bar{z}}$ ou $ a + ib = \sqrt{a^2 + b^2}$. On met en évidence quelques choix usuels d'intervalles permettant de définir l'argument. L'équation du second degré à coefficients complexes, les racines n -èmes de l'unité ou d'un nombre complexe quelconque ne sont pas des attendus du programme.

Contenus (suite)	Commentaires
Définition de e^z pour $z \in \mathbf{C}$. Formule $e^{z_1+z_2} = e^{z_1} \times e^{z_2}$.	

Exemples de capacités : démontrer par récurrence ; manipuler des égalités et des inégalités ; calculer sur des nombres réels et complexes.

Outils 3 – Trigonométrie

Le but de ce chapitre est surtout la maîtrise des calculs trigonométriques en employant les formules signalées. Les fonctions trigonométriques elles-mêmes seront vues plus loin.

Contenus	Commentaires
Définition de $\cos(\theta)$, $\sin(\theta)$ et $\tan(\theta)$. Périodicité et symétries. Formules de trigonométrie.	On fait le lien avec les symétries agissant sur le cercle trigonométrique. Formules découlant des symétries de $\cos$, $\sin$ et $\tan$. $\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta) = 1$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) \mp \sin(\alpha)\sin(\beta)$ $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin(\alpha)\cos(\beta) \pm \cos(\alpha)\sin(\beta)$ $\cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)$ $\quad = 2\cos^2(\theta) - 1 = 1 - 2\sin^2(\theta)$ $\sin(2\theta) = 2\sin(\theta)\cos(\theta)$ Les autres formules de trigonométrie ne sont pas des attendus du programme.
Résolution d'équations trigonométriques simples : $\cos(x) = c$, $\sin(x) = s$ et $\tan(x) = t$. Notations arccos, arcsin, arctan.	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.
Transformation de $a\cos(\theta) + b\sin(\theta)$ en $r\cos(\theta + \varphi)$. Résolution de $a\cos(\varphi) + b\sin(\varphi) = c$.	La méthode n'est pas imposée. $\Leftrightarrow$ On fait le lien avec diverses situations rencontrées en sciences physiques.
Linéarisation de $\cos^p(\theta)\sin^q(\theta)$.	On se limite à de petites valeurs de p et q .

Exemple de capacité : employer des formules pour résoudre des équations ou des problèmes faisant intervenir la trigonométrie.

Outils 4 – Méthodes de calcul

L'objectif de ce chapitre est de mettre en place quelques principes et exemples de maniement des symboles Σ et Π , 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 $\mathbf{R}$ ou dans $\mathbf{C}$.

Contenus	Commentaires
Notation Σ .	On précise qu'une somme ayant un ensemble d'indices vide est nulle.
Règles de calcul sur le symbole Σ .	Linéarité, changements d'indices (translations et symétries), télescopes.

Contenus (suite)	Commentaires
Sommes doubles : $\sum_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m}} a_{i,j}$ et $\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} a_{i,j}$. Notation $\prod$. Règles de calcul sur le symbole $\prod$. Factorielle, notation $n!$. 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.	Les attendus du programme se limitent au maniement de ces symboles conduisant à les mettre sous la forme de deux sommes simples successives. On précise qu'un produit ayant un ensemble d'indices vide vaut 1. On se contente de mettre en valeur la multiplicativité du symbole $\prod$. La raison q est dans $\mathbf{C} \setminus \{1\}$. 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 : $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k} \quad \binom{n}{k} = \frac{n}{k} \binom{n-1}{k-1}$ $\binom{n}{k-1} + \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k}$

Exemples de capacités : calculer efficacement avec des symboles de sommes et produits ; transformer des expressions contenant des coefficients binomiaux.

Outils 5 – Vocabulaire des applications

On évite ici tout excès de formalisme et on illustre les notions présentées par des exemples issus 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 l'exemple des fonctions indicatrices. 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.

Exemple de capacité : démontrer qu'une application est injective ou surjective.

Outils 6 – 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 $\text{card}(E)$. Deux ensembles finis E et F ont le même cardinal si, et seulement si, il existe une bijection entre E et F . Cardinal d'une union disjointe. Formule $\text{card}(A \cup B) = \text{card}A + \text{card}B - \text{card}(A \cap B)$. Cardinal d'un produit cartésien. Un éléments de E^p est appelée une p -liste de E . Il y a n^p p -listes de E . Une p -liste est dite sans répétition lorsque ses éléments sont distincts deux à deux. Il y a $n(n-1) \cdots (n-p+1)$ p -listes sans répétition de E . Une liste de E contenant exactement une fois chaque élément de E est appelée une permutation de E . Il y a $n!$ permutations de E . Si $p \leq n$, une p -combinaison de E est une partie de E à p éléments. Il y a $\binom{n}{p}$ p -combinaisons de E . Cardinal de l'ensemble des parties de E .	On définit le cardinal grâce à la notion intuitive de nombre d'éléments. C'est le nombre de façons de choisir successivement p objets parmi n , avec d'éventuelles répétitions. C'est le nombre de façons de choisir successivement p objets parmi n , sans répétition. C'est le nombre de façons de choisir successivement tous les objets d'un ensemble, sans répétition. C'est le nombre de façons de choisir simultanément p objets parmi n . On peut sur cette base réinterpréter la formule du binôme.

Exemples de capacités : modéliser une situation combinatoire au moyen d'un vocabulaire précis ; mener un calcul de dénombrement.

Analyse 1 – Suites 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
Somme, produit, quotient de suites réelles. Suites arithmétiques, suites géométriques. Suites arithmético-géométriques. Suites vérifiant une relation du type $u_{n+2} = au_{n+1} + bu_n$.	Pour ces deux situations, l'attendu se limite à la maîtrise d'une méthode de calcul du $n^{\text{ème}}$ terme. $\Leftrightarrow$ On pourra illustrer ces différents types de suites avec des modèles discrets de populations.

Exemple de capacité : obtenir une expression pour le terme d'ordre n d'une suite arith-

métrique, géométrie ou arithmético-géométrie.

Analyse 2 – Fonctions 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
Parité, périodicité. Fonctions majorées, minorées, bornées. Monotonie. Opérations algébriques. Fonctions puissances d'exposant entier (dans $\mathbf{Z}$), polynômes. 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 $.	On se contente de donner ou de rappeler les définitions dans le cadre des fonctions réelles de la variable réelle. $\Leftrightarrow$ 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 $\tan' = 1 + \tan^2 = \frac{1}{\cos^2}$.

Exemples de capacités : employer les fonctions usuelles ; reconnaître, distinguer et employer les graphes des fonctions usuelles.

Analyse 3 – Dérivées et primitives

Le but de ce chapitre est de consolider et de compléter la maîtrise des règles de dérivation et de quelques techniques de primitivation, en vue des applications physiques et aux équations différentielles.

Contenus	Commentaires
a) Dérivées Calculs des dérivées : sommes, produits, quotients. Dérivation d'une fonction composée. Dérivées partielles d'une fonction de deux variables.	Révision des règles correspondantes. Les dérivées des fonctions usuelles doivent être connues. On insiste sur le fait qu'une composée de fonctions dérivables est dérivable. 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) Primitives Primitives usuelles et calculs simples de primitives.	Révision de ce qui a été présenté en classe terminale (notamment : primitives de $u'e^u$, $u'u^n$, u'/u , $u'/\sqrt{u}$, $u' \sin u$, $u' \cos u$).

Contenus (suite)	Commentaires
Primitivation par parties.	On met en valeur $x \mapsto x \ln(x) - x$ comme primitive de $\ln$.

Exemples de capacités : dériver une expression par rapport à une variable figurant dans cette expression ; calculer une primitive simple.

Analyse 4 – Équations différentielles linéaires à coefficients constants

L'objectif de ce chapitre est de mettre en place assez tôt la problématique des équations différentielles, en vue des usages qui en sont faits en physique, chimie, biologie.

Contenus	Commentaires
Résolution de $y' + ay = b$ où a et b sont des constantes réelles.	$\Leftrightarrow$ On peut montrer des exemples tirés de la cinétique chimique.
Résolution de $y'' + ay' + by = c$ où a , b et c sont des constantes réelles.	$\Leftrightarrow$ On traite en exemple l'équation de l'oscillateur harmonique $y'' + \omega^2 y = 0$; les solutions sont présentées sous diverses formes.
Principe de superposition.	$\Leftrightarrow$ Il s'agit de mettre en évidence la linéarité des « sorties » (la fonction y) par rapport aux « entrées » (ici, la constante c).

Algèbre linéaire 1 – Systèmes linéaires

Le premier contact avec l'algèbre linéaire est de nature algorithmique. Il est envisageable de programmer l'algorithme du pivot à condition de rester dans un cas très simple.

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

Contenus	Commentaires
Systèmes d'équations linéaires. Systèmes linéaires équivalents. Opérations élémentaires.	Les opérations élémentaires sont : multiplier une équation par un scalaire non nul, ajouter à une équation une combinaison linéaire des autres.
Réduction d'un système linéaire par la méthode du pivot de Gauss.	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.
Rang d'un système : c'est son nombre de pivots après réduction.	On admet que ce nombre est indépendant du choix des pivots.
Résolution : un système linéaire a zéro, une seule ou une infinité de solutions. Dans ce dernier cas, on exprime toutes les inconnues en fonction de certaines d'entre elles.	On fait le lien avec les problèmes d'intersection de droites et de plans (dans le plan ou dans l'espace).

Exemples de capacités : mettre en place une recherche de pivots sur un système linéaire ; mener une démarche de résolution d'un système linéaire ; discuter de l'existence des solutions d'un système linéaire.

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 moyens spécifiques (calculatrice, ordinateur).

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

Contenus	Commentaires
Matrices : définition, vocabulaire. Matrice nulle. Matrices carrées, matrices lignes, colonnes. Matrices triangulaires, diagonales. Matrice identité. Opérations sur les matrices : somme, produit par un scalaire, produit matriciel. Propriétés de ces opérations.	Produit de matrices diagonales. On peut remarquer que la formule du binôme est applicable dans le cas de matrices qui commutent.
Transposée d'une matrice. Transposée d'une somme, d'un produit de matrices. Matrices carrées symétriques. Écriture matricielle d'un système linéaire. Rang d'une matrice.	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.
Matrices carrées inversibles, matrice inverse, inverse d'un produit, inverse de la transposée d'une matrice carrée inversible. Recherche pratique de l'inverse d'une matrice.	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.
Inversibilité d'une matrice carrée 2×2 et expression de la matrice inverse lorsqu'elle existe. Application à l'expression de la solution d'un système linéaire $\begin{cases} ax + by = e \\ cx + dy = f \end{cases}$ lorsque $ad - bc \neq 0$.	On introduit la notation $\det A = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}$ sans aucun développement théorique. Le déterminant des matrices de taille supérieure à 2 est hors-programme.

Exemples de capacités : traduire un problème linéaire sous forme matricielle ; mener un calcul faisant intervenir des matrices ; utiliser le rang pour décider de l'existence de solutions d'un problème linéaire ; calculer une matrice inverse dans un cas simple.

Géométrie 1

Ce chapitre sert de support intuitif et de terrain d'application à l'algèbre linéaire, mais aussi en vue d'applications aux sciences physiques et à la géologie.

Au cours d'une épreuve de mathématiques, la géométrie ne pourra servir que comme outil d'application pour l'algèbre linéaire.

On se place dans le plan et l'espace géométriques usuels munis d'un repère orthonormal.

Contenus	Commentaires
a) Produit scalaire dans le plan ou dans l'espace Vecteurs du plan et de l'espace, colinéarité.	Ce paragraphe vise une consolidation des acquis. Par représentation sous forme de couples ou de triplets de coordonnées, les vecteurs apparaissent comme éléments de $\mathbf{R}^2$ ou $\mathbf{R}^3$.

Contenus (suite)	Commentaires
Déterminant de deux vecteurs dans le plan, condition de colinéarité. Produit scalaire de deux vecteurs du plan ou de l'espace. Orthogonalité. Interprétation du produit scalaire en termes de projection orthogonale.	On fait le lien avec le déterminant d'une matrice carrée 2×2. Le produit scalaire est calculé à partir des coordonnées et relié à la norme. On rappelle la définition de la projection orthogonale d'un vecteur sur une droite ou sur un plan.
b) Droites et cercles dans le plan 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 d'un cercle défini par son centre et son rayon.	
c) Droites et plans dans l'espace Vecteur directeur d'une droite. Représentation paramétrique d'une droite. 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.	Les sphères ne sont pas un attendu du programme.
d) Barycentres Définition du barycentre de n points du plan ou de l'espace affectés de coefficients. Coordonnées du barycentre.	$\Rightarrow$ La notion de barycentre est principalement introduite pour éclairer diverses notions comme centre de masse (ou d'inertie) en mécanique, le centre de pression en hydrostatique et le point moyen en statistique descriptive.

Exemples de capacités : modéliser un problème de nature géométrique au moyen d'équations ; représenter une configuration.

Algèbre – Polynômes

Les polynômes sont introduits à la fois comme outils de modélisation de phénomènes complexes et comme un domaine permettant un calcul de nature algébrique.

Les applications polynomiales sont plus simplement appelées polynômes. Les notions de polynôme en tant qu'objet formel et de fraction rationnelle sont hors-programme.

Contenus	Commentaires
Monômes, degré. Polynômes à coefficients réels ou complexes. Opérations sur les polynômes (somme, produit). Une combinaison linéaire de monômes de degrés distincts ne peut être nulle que si tous les coefficients sont nuls. Degré. Coefficients d'un polynôme.	On fait apparaître les polynômes comme sommes de monômes. On constate que ces opérations (sur les fonctions) fournissent des polynômes. On convient que le polynôme nul est de degré $-\infty$. On montre que deux polynômes sont égaux si, et seulement si, ils ont les mêmes coefficients.

Contenus (suite)	Commentaires
Polynôme dérivé. Degré d'une somme, d'un produit, d'une dérivée de polynômes. Racines d'un polynôme. Un polynôme P est factorisable par $X - a$ si, et seulement si, a est une racine de P. Généralisation à plusieurs racines distinctes. Un polynôme P est factorisable par $(X - a)^k$ si, et seulement si, on a $P^{(j)}(a) = 0$ pour $j \in \{0, 1, \dots, k - 1\}$. Ordre de multiplicité d'une racine. Théorème de d'Alembert–Gauss : • Tout polynôme à coefficients complexes de degré n peut s'écrire $a_n(X - x_1) \cdots (X - x_n)$, les x_i n'étant pas nécessairement deux à deux distincts. • Tout polynôme de degré $n \in \mathbf{N}$ admet exactement n racines complexes comptées avec leurs ordres de multiplicité. Un polynôme de degré inférieur ou égal à n ayant au moins $(n + 1)$ racines, comptées avec leurs ordres de multiplicité, est nul.	Pour les polynômes à coefficients complexes, le polynôme dérivé est défini à partir des coefficients. Les racines des polynômes du second degré à coefficients réels ont été étudiées dans Outils 2. La division euclidienne est hors-programme. Le nombre de racines distinctes ne dépasse pas le degré. On met en évidence, à partir d'exemples, les notions de racine simple, racine multiple, racine double. La formule de Taylor est hors-programme. Ce résultat est admis. La décomposition sur $\mathbf{R}$ est hors-programme. Ce résultat est admis. En particulier, tout polynôme ayant une infinité de racines est nul.

Exemples de capacités : calculer sur des polynômes ; factoriser un polynôme.

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 statistique.

$\Rightarrow$ 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.

Contenus	Commentaires
a) Statistique univariée Série statistique de taille n portant sur un caractère x. Distinction entre caractères quantitatifs et qualitatifs. Description d'une série statistique : effectifs, fréquences, fréquences cumulées. Représentations graphiques. Caractéristiques de position (moyenne $\bar{x}$, médiane, mode). Caractéristiques de dispersion (variance s_x^2 et écart-type s_x, quartiles, déciles).	Un caractère est encore appelé variable ou variable statistique. L'observation se traduit par un n-uplet : $(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Diagrammes en bâtons, histogrammes. $\Rightarrow$ On montre, sur des exemples tirés de données réelles, que ces caractéristiques peuvent donner des indications plus ou moins pertinentes.
b) Statistique bivariée	

Contenus (suite)	Commentaires
Série statistique double de taille n portant sur deux caractères quantitatifs x et y. Nuage de points de $\mathbf{R}^2$ associé. Point moyen $(\bar{x}, \bar{y})$ du nuage. Caractéristiques d'une série statistique double : covariance s_{xy}, coefficient de corrélation r_{xy}. Ajustement affine selon la méthode des moindres carrés. Interprétation géométrique de l'ajustement affine.	L'observation se traduit par un n-uplet d'éléments de $\mathbf{R}^2$: $((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))$ L'optimalité de l'ajustement est, à ce stade, admise. $\Leftrightarrow$ L'objectif est de mettre en place une méthode largement répandue dans les autres enseignements scientifiques. On présente sur des exemples comment des changements de variables peuvent transformer le nuage de sorte que la droite des moindres carrés soit plus pertinente.

Exemples de capacités : décrire une situation statistique au moyen d'indicateurs statistiques ; mettre en place un ajustement affine (ou régression linéaire).

Analyse 5 – Suites réelles

Contenus	Commentaires
Suites majorées, minorées, bornées. Suites monotones. Convergence, divergence. Limite infinie. Comparaison de la convergence et de la limite d'une suite (u_n) avec celles des deux suites (u_{2n}) et (u_{2n+1}). Opérations sur les limites. Résultats fondamentaux sur les limites et inégalités : • Signe d'une suite de limite non nulle. • Passage à la limite dans une inégalité large. • Théorème dit « des gendarmes » et extension aux limites infinies. Théorème de la limite monotone. Suites adjacentes et théorème des suites adjacentes. Exemples d'étude de suites du type $u_{n+1} = f(u_n)$. Croissances comparées entre les suites factorielle, puissance (n^α avec $\alpha > 0$), géométriques (a^n avec $a > 1$). Suites équivalentes, notation $u_n \sim v_n$. L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élévation à une puissance constante. Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.	La définition d'une limite par (ε, n_0) est présentée, mais aucune technicité ne pourra être exigée en la matière. Utilisation de cette comparaison pour justifier une divergence. La notion générale de suite extraite est hors programme. Toute suite réelle monotone admet une limite finie ou infinie. 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 f monotones. Aucun théorème général relatif à ce type de suites n'est exigible des étudiants. 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.

Exemples de capacités : démontrer ou réfuter une convergence de suite ; comparer deux suites asymptotiquement.

3 – Programme du second semestre

Probabilités 1 – Concepts de base des probabilités

Le but de ce chapitre est de reprendre de manière systématique les bases des probabilités finies telles qu'introduites en classes de Seconde et Première et de les compléter avec l'étude du conditionnement abordé en classe Terminale.

⇒ Ce domaine peut être avantageusement illustré avec une diversité de situations tirées de la génétique.

Contenus	Commentaires
a) Vocabulaire des expériences aléatoires et probabilités Ensemble des résultats possibles de l'épreuve (univers). Événements. Évènement certain, évènement impossible. Événements incompatibles Système complet d'événements. Probabilité. Propriétés d'une probabilité : $P(\bar{A}) = 1 - P(A), P(\emptyset) = 0, P(A) = P(A \cap B) + P(A \cap \bar{B}),$ $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B).$ Si $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ et $p_1, p_2, \dots, p_n$ sont des réels positifs ou nuls de somme 1, il existe une et une seule probabilité P sur Ω telle que $P(\{x_i\}) = p_i$ pour tout i. Cas de l'équiprobabilité : probabilité uniforme.	On se limite au cas où l'algèbre des évènements est l'ensemble des parties de Ω. Un système complet pour Ω est une famille finie de parties deux à deux disjointes dont la réunion est l'ensemble Ω. La formule du crible est hors-programme. Choisir les valeurs des p_i revient à choisir un modèle probabiliste.
b) Étude du conditionnement Définition de la probabilité conditionnelle. P_A est une probabilité. Formule de conditionnement $P(A \cap B) = P(A)P(B A)$. Formule des probabilités composées (conditionnements successifs). Formule des probabilités totales $P(B) = \sum_i P(B \cap A_i)$. Formule de Bayes. Indépendance de deux évènements, de deux épreuves. Événements (mutuellement) indépendants, épreuves (mutuellement) indépendantes.	On utilise l'une ou l'autre des deux notations $P(B A)$ et $P_A(B)$ pour la « probabilité de B sachant A » (probabilité de B sachant que A est réalisé). Dans le cas où les $P(A_i)$ sont non nuls, interprétation en termes de probabilités conditionnelles. On utilise des représentations telles que arbres, tableaux, diagrammes, etc. On souligne le lien qui existe entre les hypothèses d'indépendance et les choix faits lors de la modélisation du problème étudié. La notion générale de probabilité produit n'est pas un attendu du programme.

Exemples de capacités : modéliser une expérience aléatoire au moyen d'une probabilité ; calculer la probabilité d'un évènement ; élaborer une hypothèse d'indépendance et

l'utiliser pour calculer des probabilités.

Analyse 6 – Limites, continuité

Contenus	Commentaires
a) Limites Limite d'une fonction en un point. Limite à droite, limite à gauche. Limite en $+\infty$ ou $-\infty$. Si (u_n) tend vers a et si la limite de f en a est b , alors la suite $(f(u_n))$ tend vers b . Opérations sur les limites. Limite de fonctions composées. Résultats fondamentaux sur les limites et inégalités : • Signe d'une fonction de limite non nulle. • Passage à la limite dans une inégalité large. • Théorème dit « des gendarmes » et extension aux limites infinies. Théorème de la limite monotone.	La définition d'une limite par (ε, α) est présentée, mais les détails techniques ne sont pas un attendu du programme. Une fonction monotone sur un intervalle ouvert admet une limite finie ou infinie aux bornes de l'intervalle.
b) Comparaison de fonctions Croissances comparées des fonctions exponentielles, puissances et logarithmes. Fonctions équivalentes, notation $f \sim g$. L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élévation à une puissance constante. Utilisation des équivalents pour la recherche de limites.	Le développement reste modeste et se limite aux fonctions qui ne s'annulent pas au voisinage du point de référence.
c) Continuité Continuité en un point. Continuité à droite et à gauche. 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.
d) Bijections continues 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 des fonctions $\sqrt[n]{}$. Définition, monotonie et représentation graphique de la fonction arctan.	On peut illustrer l'algorithme de dichotomie sur des exemples d'équations de type $f(x) = 0$. La fonction $\sqrt[n]{}$ est définie et continue sur $\mathbf{R}$ (respectivement sur $\mathbf{R}_+$) lorsque n est impair (respectivement n est pair). Aucune formule n'est à connaître excepté l'imparité de la fonction arctan.

Exemples de capacités : calculer une limite de fonction ; comparer deux fonctions asymptotiquement ; résoudre de manière approchée une équation de type $f(x) = 0$.

Analyse 7 – Dérivation

Contenus	Commentaires
a) Dérivée 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. Dérivée de la fonction arctan. Dérivée de la fonction $\sqrt[n]{}$ (sur $\mathbf{R}^*$ lorsque n est impair et sur $\mathbf{R}_+^*$ lorsque n est pair).
b) Théorème de Rolle et conséquences 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 peut être mentionnée mais n'est pas un attendu du programme. On se contente du résultat suivant : si la dérivée est positive ou nulle sur un intervalle et ne s'annule qu'en un nombre fini de points alors la fonction est strictement croissante sur cet intervalle. Le théorème sur la limite de la dérivée est hors-programme.
c) Dérivées d'ordre supérieur Fonctions de classe $\mathcal{C}^n$, de classe $\mathcal{C}^\infty$. Le produit de deux fonctions de classe $\mathcal{C}^n$ est de classe $\mathcal{C}^n$, la composée de deux fonctions de classe $\mathcal{C}^n$ de même.	La formule de Taylor-Lagrange est hors-programme. La formule de Leibniz est hors programme.

Exemple de capacité : étudier les variations d'une fonction de variable réelle et à valeurs réelles.

Analyse 8 – Développement limités et études de fonctions

Contenus	Commentaires
a) Développement limités Définition de la notation $o(x^n)$ pour désigner des fonctions négligeables devant la fonction $x \mapsto x^n$ pour $n \in \mathbf{Z}$, 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. Primitivation d'un développement limité. Formule de Taylor-Young : existence d'un développement limité à l'ordre n pour une fonction de classe $\mathcal{C}^n$.	On se ramène, aussi souvent que nécessaire, à la limite d'un quotient. Les problèmes de développement limité en un réel non nul ou en $\pm\infty$ sont ramenés en 0. L'obtention d'un développement limité pour une fonction composée est présentée et exercée sur des exemples simples. La formule de Taylor-Young peut être admise.

Contenus (suite)	Commentaires
Développements limités usuels au voisinage de 0 : $\exp$, $\cos$, $\sin$, $x \mapsto 1/(1+x)$, $x \mapsto \ln(1+x)$, $x \mapsto (1+x)^\alpha$. Exemples d'approximations numériques des fonctions dérivées : pour une fonction de classe $\mathcal{C}^2$ au voisinage de x, approximation de $f'(x)$ par $\frac{f(x+h)-f(x)}{h}$; pour une fonction de classe $\mathcal{C}^3$, par $\frac{f(x+h)-f(x-h)}{2h}$.	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. $\Leftrightarrow$ La formule de Taylor-Young (à l'ordre 2 ou 3) montre l'intérêt de ces approximations, introduites en vue de l'usage dans les autres enseignements. En mathématiques, le développement reste modeste et, en particulier, on ne cherchera pas à majorer l'erreur. L'expérimentation numérique avec un logiciel ou une calculatrice permet bien de mettre en évidence le phénomène.
b) Étude de fonctions et recherche d'asymptotes Méthodologie d'étude d'une fonction. Étude des branches infinies : branches paraboliques, recherche de droites asymptotes et étude de la position de la courbe par rapport à ses asymptotes. Exemples de démarches de résolutions approchées d'équations de la forme $f(x) = 0$, f étant une fonction de classe $\mathcal{C}^1$ au moins sur un intervalle de $\mathbf{R}$.	La convexité comme l'étude des courbes paramétrées sont hors-programme. On choisit des exemples mettant en évidence la nécessité de séparer les racines. $\Leftrightarrow$ On présente la méthode de Newton comme algorithme d'approximation.

Exemples de capacités : calculer et utiliser des développements limités ; effectuer une recherche d'asymptote ; mener une démarche d'approximation.

Algèbre linéaire 3 – Espaces vectoriels et sous-espaces vectoriels

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.

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

Contenus	Commentaires
a) Structure vectorielle Description de la structure vectorielle de K^n, règles de calcul. 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. Famille génératrice finie d'un sous-espace vectoriel.	On fait le lien avec les règles de calcul des vecteurs du plan et de l'espace de la géométrie. On entend par sous-espace vectoriel un ensemble de vecteurs stable par combinaison linéaire et contenant le vecteur nul. On utilise la notation $\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)$.

Contenus (suite)	Commentaires
Famille libre finie, famille liée finie. Bases d'un sous-espace vectoriel. Coordonnées d'un vecteur par rapport à une base. Base canonique de K^n.	On admet l'existence de bases pour tout sous-espace vectoriel. 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.
b) Dimension Dimension. Dans un sous-espace vectoriel de dimension p : • Toute famille libre a au plus p éléments. • Une famille libre ayant p éléments est une base. • De toute famille génératrice on peut extraire une base. • Toute famille génératrice a au moins p éléments. • Une famille génératrice ayant p éléments est une base. Si E et F sont deux sous-espaces vectoriels de K^n avec $F \subset E$, alors $\dim F \leq \dim E$; et si les deux dimensions sont égales, alors $F = E$. Rang d'une famille finie de vecteurs.	On admet que toutes les bases d'un sous-espace vectoriel ont même cardinal appelé dimension du sous-espace vectoriel. 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. 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. Le théorème de la base incomplète est hors programme. Le rang peut se calculer pratiquement en adaptant la méthode du pivot aux familles finies de vecteurs.

Exemples de capacités : choisir une base adéquate pour traduire un problème de manière simple ; calculer un rang ou une dimension.

Note : la structure d'espace vectoriel peut être observée dans d'autres contextes que celui qui est précisé ici (fonctions, suites et polynômes), ce qui prépare le travail qui sera fait en seconde année.

Algèbre linéaire 4 – Applications linéaires et matrices

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

Contenus	Commentaires
Définition d'une application linéaire de K^p dans K^n. Opérations sur les applications linéaires : addition, multiplication par un scalaire, composition, réciproque. Propriétés de ces opérations. Noyau, image. Lien avec : f injective, f surjective, f bijective. Détermination d'une application linéaire par l'image des vecteurs d'une base. Matrice d'une application linéaire dans des bases. 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.	

Contenus	Commentaires
a) Équations du premier ordre Résolution (formelle) des équations différentielles du type $y' + a(t)y = f(t)$, où a et f sont des fonctions continues sur un intervalle et à valeurs réelles. Méthode de la variation de la constante. Exemples de résolution d'équations différentielles incomplètes (ou autonomes) du type $y'(t) = F(y(t))$, F étant une fonction continue sur un intervalle et à valeurs réelles.	Pour toute autre équation différentielle une méthode de résolution doit être fournie. Aucune théorie générale ne doit être faite. $\Leftrightarrow$ On se limite ici à quelques exemples issus de la biologie des populations ou de la cinétique chimique (modèles malthusien, logistique, de Gompertz). $\Leftrightarrow$ L'usage d'un algorithme de résolution approchée (programmé ou fourni par un logiciel) peut intervenir en complément des méthodes de résolution formelle.
b) Équations du second ordre Résolution de $y'' + ay' + by = f(t)$ où a et b sont réels et f une fonction continue sur un intervalle, quand la forme d'une solution particulière est donnée. Principe de superposition.	Lorsque f est de la forme $t \mapsto P(t)e^{mt}$ (m étant un réel et P un polynôme), on proposera de chercher une solution du type $t \mapsto Q(t)e^{mt}$, Q étant un polynôme dont on indiquera le degré. Lorsque f est de la forme $t \mapsto \sin(\omega t)$ ou $t \mapsto \cos(\omega t)$, on proposera de chercher une solution du type $t \mapsto \lambda \sin(\omega t) + \mu \cos(\omega t)$ ou $t \mapsto \lambda t \sin(\omega t) + \mu t \cos(\omega t)$, λ et μ étant à déterminer. $\Leftrightarrow$ Linéarité des « sorties » (la fonction y) par rapport aux « entrées ».

Exemples de capacités : résoudre (formellement) une équation différentielle linéaire ou à variables séparables ; utiliser un logiciel ou un algorithme pour tracer des solutions approchées.

Analyse 11 – Fonctions réelles de deux variables réelles

Les étudiants sont amenés à manipuler, dans les autres sciences, des fonctions de plusieurs variables. En mathématiques, et dans un but de simplification, on se contente de l'étude de fonctions de deux variables réelles et à valeurs réelles, quitte à faire observer aux étudiants que l'étude de fonctions de trois variables n'est pas foncièrement différente. Les questions de régularité (limites, continuité, classe $\mathcal{C}^1$) doivent être évoquées avec une grande parcimonie et en se basant sur l'intuition avant tout. Aucune difficulté ne sera soulevée au sujet des domaines de définition des fonctions considérées.

Ces notions ne pourront constituer le thème principal d'aucune question d'écrit ou d'oral. On s'appuie sur la présentation des dérivées partielles figurant dans Analyse 3.

Contenus	Commentaires
Fonction de deux variables continue, de classe $\mathcal{C}^1$ sur un pavé ouvert du plan. Surface représentative d'une fonction de deux variables, courbes ou lignes de niveau.	On se contente d'une approche très intuitive de la notion de continuité, pouvant être soutenu par des illustrations graphiques. L'écriture d'une définition formalisée est hors-programme. 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.

Contenus (suite)	Commentaires
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. Dérivation d'une expression de la forme $f(x(t), y(t))$, la fonction f étant de classe $\mathcal{C}^1$ et les fonctions x, y étant dérivables. Dérivées partielles d'ordre deux, interversion des dérivations. Pour une fonction définie sur un pavé ouvert du plan, et admettant des dérivées partielles : les dérivées partielles en un extrémum s'annulent. Définition du gradient ; calcul dans un repère orthonormal en coordonnées cartésiennes.	Le théorème de Schwarz est admis. Aucune étude du problème réciproque (condition suffisante d'extrémalité) n'est au programme. On applique ce résultat pour expliquer l'ajustement affine par les moindres carrés.

Exemples de capacités : approcher la variation d'une fonction de deux variables au moyen des dérivées partielles ; calculer des dérivées partielles d'ordre deux.

Probabilités 2 – Variables aléatoires finies

En première année on se limite aux variables aléatoires réelles ne prenant qu'un nombre fini de valeurs.

Contenus	Commentaires
a) Variables aléatoires finies On nomme variable aléatoire sur Ω toute application de Ω dans $\mathbf{R}$. La loi [de probabilité] d'une variable aléatoire X est l'application f_X de $X(\Omega)$ dans $\mathbf{R}$ associant à tout x de $X(\Omega)$ le nombre $f_X(x) = P(X = x)$. La fonction de répartition de X est l'application F_X de $\mathbf{R}$ dans $\mathbf{R}$ associant à tout t réel le nombre $F_X(t) = P(X \leq t)$. Espérance mathématique $E(X)$ d'une variable aléatoire X. Propriétés. Théorème de transfert : espérance de $u(X)$ à partir de la loi de X. Moments. Variance $V(X)$ d'une variable aléatoire X. Écart-type $\sigma(X)$ d'une variable aléatoire X. Inégalité de Bienaymé–Tchebychev.	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 (continuité à droite, limites...) ne sont pas au programme. On démontre que l'espérance est positive (si X est positive) et croissante. La linéarité est énoncée mais admise à ce stade. Résultat admis. On met en valeur la formule $V(aX + b) = a^2 V(X)$. On définit à cette occasion la notion de variable centrée et celle de variable centrée réduite.
b) Lois usuelles Loi certaine, uniforme, de Bernoulli, binomiale, hypergéométrique.	Les étudiants doivent savoir reconnaître les situations classiques de modélisation par des lois uniformes, de Bernoulli, hypergéométrique et binomiale. On fait le lien entre la loi de Bernoulli et les variables indicatrices.

Contenus (suite)	Commentaires
Approximation d'une loi hypergéométrique par une loi binomiale. Espérance et variance d'une variable de loi certaine, d'une variable de loi de Bernoulli (ou indicatrice) et d'une variable de loi binomiale. Espérance d'une variable de loi uniforme sur $\{1, 2, \dots, n\}$ et d'une variable de loi hypergéométrique.	La convergence en loi est hors-programme. La formule de la variance d'une variable de loi uniforme ou hypergéométrique n'est pas un attendu du programme
c) Couples de variables aléatoires finies Couple (X, Y) de deux variables aléatoires finies. Loi conjointe, lois marginales. Lois conditionnelles. Loi de la somme de deux variables aléatoires à valeurs entières positives. Théorème de transfert : espérance de $u(X, Y)$ à partir de la loi de (X, Y). Covariance $\text{Cov}(X, Y)$. Variance de $X + Y$. Indépendance de deux variables aléatoires. Si X et Y sont deux variables aléatoires indépendantes, alors $u(X)$ et $v(Y)$ sont indépendantes.	Ce résultat est admis mais peut être utilisé pour justifier la linéarité de l'espérance. Résultat admis.
d) Généralisation au cas de n variables aléatoires. Espérance de la somme de n variables aléatoires. Indépendance (mutuelle) de n variables aléatoires. Propriétés de l'indépendance mutuelle : • Si $X_1, X_2, \dots, X_n$ sont indépendantes, toute sous-famille l'est aussi. • Si $X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+p}$ sont des variables aléatoires indépendantes, alors $u(X_1, X_2, \dots, X_n)$ et $v(X_{n+1}, \dots, X_{n+p})$ sont indépendantes. • Si $X_1, X_2, \dots, X_p$ sont des variables aléatoires indépendantes, alors $u_1(X_1), u_2(X_2), \dots, u_p(X_p)$ sont indépendantes. Variance d'une somme de n variables aléatoires indépendantes. Loi de la somme de n variables de Bernoulli indépendantes et de même paramètre.	Les résultats sont admis.

Exemples de capacités : modéliser une expérience aléatoire au moyen d'une variable aléatoire ; démontrer que des variables aléatoires sont indépendantes ; calculer une espérance ; calculer une variance.

Programmes de première et seconde années de la classe préparatoire scientifique
biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST)

ANNEXE 4

Programme d'informatique pour la filière BCPST (version 5a)

1 / Objectifs de formation

1.1 / Généralités

L'enseignement de l'informatique en classes préparatoires de la filière BCPST a pour objectif d'introduire puis de consolider les concepts de base de l'informatique, à savoir l'analyse et la conception de processus de raisonnement automatisé, c'est-à-dire des algorithmes, et la question de la représentation des données. Aussi souvent que possible, on favorisera une contextualisation des thèmes informatiques étudiés en s'appuyant sur les autres disciplines scientifiques : biologie, géologie, chimie, physique ou mathématiques.

1.2 / Compétences visées

Cet enseignement doit permettre de développer les compétences suivantes :

analyser et modéliser	un problème, une situation, en lien avec les autres disciplines scientifiques
imaginer	une solution modulaire, utilisant des méthodes de programmation, des structures de données appropriées pour le problème étudié
traduire	un algorithme dans un langage de programmation
spécifier	rigoureusement les modules ou fonctions
évaluer, contrôler, valider	des algorithmes et des programmes
communiquer	à l'écrit ou à l'oral, une problématique, une solution ou un algorithme, une documentation.

L'étude et la maîtrise de quelques algorithmes fondamentaux, l'utilisation de structures de données adaptées et l'apprentissage de la syntaxe du langage de programmation choisi permettent de développer des méthodes (ou paradigmes) de programmation fiables et efficaces : programmation impérative, approche descendante, programmation structurée, utilisation de bibliothèques logicielles, notions élémentaires de complexité en temps ou en mémoire, documentation.

La pratique régulière de la résolution de problèmes de nature algorithmique et des activités de programmation qui en résultent est un aspect essentiel de l'apprentissage de l'informatique. Il est souhaitable que les exemples choisis ainsi que certains exercices d'application soient inspirés par les enseignements de biologie et géologie, de physique et chimie, ou de mathématiques.

Le travail sur la documentation est également important, combinant la documentation des programmes lors de leur conception, en vue de leur réutilisation et possibles modifications ultérieures, avec la pratique raisonnée de la recherche d'informations pertinentes dans les documentations en ligne décrivant les différents composants logiciels que les étudiants auront à manipuler.

Enfin, les compétences acquises en informatique ont vocation à participer pleinement à l'élaboration des travaux d'initiative personnelle encadrée (T.I.P.E.) et à être réutilisées au sein des autres enseignements scientifiques.

2 / Programme de première année (BCPST1)

2.1 / Organisation de cet enseignement

L'ordre de présentation des notions et situations présentées dans les parties 2.3 et 2.4 ci-dessous n'est pas imposé. Il est d'ailleurs recommandé de créer de nombreux liens entre algorithmique et programmation, tout en distinguant soigneusement ces deux domaines.

Un temps introductif sera prévu :

- pour présenter et analyser les relations entre les principaux composants d'une machine numérique telle que l'ordinateur personnel ou un appareil photo numérique : sources d'énergie, mémoire vive, mémoire de masse, processeur, périphériques d'entrée-sortie, ports de communication avec d'autres composants numériques (aucune connaissance particulière des composants cités n'est exigible) ;
- pour présenter et faire manipuler un système d'exploitation (essentiellement : arborescence de fichiers, droits d'accès et de modification de ces derniers) ;
- et pour présenter et faire manipuler un environnement de développement.

2.2 / Outils employés

L'enseignement se fonde sur un environnement de programmation (langage et bibliothèques) basé sur un langage interprété largement répandu et à source libre. Au moment de la conception de ce programme, l'environnement choisi est Python. Des textes réglementaires ultérieurs pourront mettre à jour ce choix en fonction des évolutions et des besoins.

Les travaux pratiques conduiront à éditer et manipuler fréquemment des codes sources et des fichiers ; c'est pourquoi un environnement de développement efficace doit être choisi et utilisé. Les étudiants doivent être familiarisés avec les tâches de création d'un fichier source, d'édition d'un programme, de gestion des fichiers, d'exécution et d'interruption d'un programme.

L'étude approfondie de ces divers outils et environnements n'est pas une fin en soi et n'est pas un attendu du programme.

2.3 / Programmation

On insistera sur une organisation modulaire des programmes ainsi que sur la nécessité d'une programmation structurée et parfaitement documentée.

Contenus	Capacités	Commentaires
Variables notion de type et de valeur d'une variable, types simples.	Choisir un type de données en fonction d'un problème à résoudre.	Les types simples présentés sont les entiers, flottants, booléens et chaînes de caractères.
Expressions et instructions affectation, opérateurs usuels, notion d'expression.		Les expressions considérées ont des valeurs numériques, booléennes ou de type chaîne de caractères.
Instructions conditionnelles expressions booléennes et opérateurs logiques simples, instruction if .	Agencer des instructions conditionnelles avec alternatives, éventuellement imbriquées.	L'ordre d'évaluation n'est pas un attendu du programme.
Fonctions notion de fonction (au sens informatique), définition dans le langage utilisé, paramètres (ou arguments) et résultats, portée des variables.	Concevoir l'entête (ou la spécification) d'une fonction, puis la fonction elle-même ; documenter une fonction, un programme plus complexe.	On distingue les variables locales des variables globales, tout en valorisant l'usage de variables locales.
Instructions itératives boucles for , boucles conditionnelles while .	Organiser une itération, contrôler qu'elle s'achève.	Les sorties de boucle (instruction break) peuvent être présentées à l'occasion d'exemples lorsqu'elles contribuent notablement à simplifier la programmation.

Contenus (suite)	Capacités	Commentaires
Manipulation de quelques structures de données chaînes de caractères (création, accès à un caractère, concaténation), listes (création, ajout d'un élément, suppression d'un élément, accès à un élément, extraction d'une partie de liste), tableaux à une ou plusieurs dimensions.	Traduire un algorithme dans un langage de programmation.	On met en évidence le fait que certaines opérations d'apparence simple cachent un important travail pour le processeur On prépare les démarches qui vont suivre en introduisant la structure d'image ponctuelle (ou bitmap) en niveaux de gris, assimilée à un tableau d'entiers à deux dimensions.
Fichiers notion de chemin d'accès, lecture et écriture de données numériques ou de type chaîne de caractères depuis ou vers un fichier.	Gérer efficacement et durablement une série de fichiers, une arborescence.	On encourage l'utilisation de fichiers en tant que supports de données ou de résultats avant divers traitements, notamment graphiques.
Bibliothèques logicielles utilisation de quelques fonctions d'une bibliothèque et de leur documentation en ligne.	Accéder à une bibliothèque logicielle ; rechercher une information au sein d'une documentation en ligne.	On met en évidence l'intérêt de faire appel aux bibliothèques, évitant de devoir réinventer des solutions à des problèmes bien connus. La recherche des spécifications des bibliothèques joue un rôle essentiel pour le développement de solutions fiables aux problèmes posés.

2.4 / Algorithmique

Cette partie rassemble un petit nombre d'algorithmes classiques et d'usage universel ; les attendus du programme se limitent en général à la compréhension et à l'usage de ces algorithmes (éventuellement par appel à une fonction d'une bibliothèque), sauf pour ceux dont la programmation effective doit être étudiée (signalés par un symbole ♦).

Contenus	Commentaires
♦ Recherche dans une liste, ♦ recherche du maximum dans une liste de nombres, ♦ calcul de la moyenne. ♦ Recherche d'un mot dans une chaîne de caractères. Algorithmes de tri d'un tableau à une dimension de valeurs numériques : tri à bulles, ♦ tri par insertion. ♦ Calcul de la médiane d'une liste de nombres. Exemples d'algorithmes simples opérant sur une image ponctuelle en niveaux de gris. ♦ Simulation d'une variable aléatoire prenant un nombre fini de valeurs.	On se limite à l'algorithme « naïf », en estimant sa complexité. Le tri rapide sera évoquée en seconde année. Les algorithmes présentés sont du type « à balayage » et restent très simples : éclaircissement, accentuation du contraste, flou, accentuation de contours. On met en évidence l'importance de tels algorithmes en les appliquant sur des images issues de la biologie et des géosciences. On se sert du générateur de nombres pseudo-aléatoires fourni par le langage.

Capacités intervenant dans cette partie : expliquer ce que fait un algorithme donné ;
modifier un algorithme existant pour obtenir un résultat différent ;
concevoir un algorithme répondant à un problème précisément posé.

3 / Programme de seconde année (BCPST2)

En seconde année, l'enseignement d'informatique est orienté vers la pratique et la consolidation des compétences fondamentales. Les trois volets indiqués ci-dessous concourent à enrichir la culture des étudiants par un apport modeste de nouvelles méthodes et la réalisation d'un projet.

3.1 / Compléments d'algorithmique

Les algorithmes décrits ci-dessous sont présentés puis mis en œuvre soit par programmation soit en faisant appel à une fonction de bibliothèque.

Contenus	Commentaires
Algorithme de tri rapide (ou quicksort) d'un tableau à une dimension de valeurs numériques.	La présentation du tri rapide peut servir à introduire l'idée de la récursivité sans entrer dans les détails de gestion de la mémoire.
Algorithme de Dijkstra de recherche de plus court chemin dans un graphe pondéré à poids positifs.	Le graphe est représenté par la matrice d'adjacence.
Simulation d'une variable aléatoire à densité suivant une loi uniforme, exponentielle ou normale.	On se sert du générateur de nombres pseudo-aléatoires fourni par le langage, et, pour la loi normale, d'une fonction de bibliothèque.

Capacités intervenant dans cette partie : expliquer ce que fait un algorithme donné ;
modifier un algorithme existant pour obtenir un résultat différent ;
concevoir un algorithme répondant à un problème précisément posé.

3.2 / Méthodes numériques

L'utilisation des bibliothèques de calcul numérique ou matriciel, de visualisation de données ou de traitement d'images, ou encore de bioinformatique, permet d'introduire les méthodes numériques classiques de résolution de problèmes issus des autres disciplines : résolution approchée d'équations différentielles, résolution de systèmes linéaires, statistiques, simulation, traitement et représentation de données expérimentales ou de mesures directement prélevées sur des montages expérimentaux, etc.

Un exemple important de traitement numérique est fourni par les images ponctuelles (ou bitmap) en niveaux de gris ou en couleurs, qui apparaissent fréquemment dans de nombreux contextes expérimentaux ou appliqués (radiologie, échographie etc.). Les algorithmes de transformation ou d'extraction permettent d'analyser des structures, distributions, comportements et peuvent participer à des démarches de diagnostic.

L'objectif pédagogique est double : d'une part, savoir repérer et utiliser correctement les fonctions utiles d'une bibliothèque logicielle en se servant de la documentation en ligne, et d'autre part prendre conscience des questions posées par le calcul sur les nombres flottants (arrondis, précision du calcul, différence entre un nombre très petit et un nombre nul).

La connaissance détaillée de ces bibliothèques n'est pas un attendu du programme, lequel se limite à quelques exemples contextualisés d'utilisation d'éléments de bibliothèques.

Capacités intervenant dans cette partie : accéder à une bibliothèque ;
rechercher une information dans une documentation en ligne ;
documenter un programme réalisé en s'appuyant sur une ou plusieurs bibliothèques ;
identifier ou construire un modèle ;
confronter un modèle au réel ;
développer un regard critique sur les résultats obtenus.

3.3 / Réalisation d'un projet

L'acquisition durable de compétences, même modestes, en informatique repose sur une régularité d'exercices pratiques et s'accorde au mieux avec le développement de projets. Il est donc recommandé de faire réaliser aux étudiants un projet mettant en valeur les compétences acquises, dès que ces compétences commencent à être effectives. Pour la réalisation de ce projet, les étudiants peuvent travailler en groupe de taille

réduite (4 au maximum). Le temps passé sur les projets doit rester modeste afin de ne pas empiéter sur les autres tâches et disciplines.

Les thèmes des projets sont choisis de manière à représenter la diversité des applications possibles, notamment en biologie et géologie. Un renouvellement fréquent de ces thèmes est à prévoir afin de développer l'esprit d'innovation chez les étudiants.

Ces projets doivent pouvoir être présentés (sous forme écrite et orale) par les étudiants en mettant en valeur :

- la nature et l'intérêt du problème scientifique étudié
- l'approche choisie pour résoudre le problème
- l'organisation choisie pour la conduite du projet (répartition des tâches, échéancier)
- la structuration de la solution (découpage en diverses tâches et modules)
- l'adéquation de la solution par rapport au problème initialement posé.

Capacités intervenant dans cette partie : recueillir des informations et mobiliser des ressources ;
initier des perspectives nouvelles ;
organiser un travail impliquant un développement logiciel ;
collaborer au sein d'une équipe pour réaliser une tâche ;
développer un regard critique sur les résultats obtenus ;
présenter une solution à l'écrit, à l'oral.