



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Direction générale
pour l'enseignement
supérieur et
l'insertion
professionnelle

Service de la stratégie
de l'enseignement
supérieur et de
l'insertion
professionnelle

Département de
l'architecture et de la
qualité des formations
de niveau licence

NOTE DE PRÉSENTATION

Les présents arrêtés, au nombre de huit, vous sont soumis pour visa avant présentation devant les instances consultatives.

Ils s'inscrivent dans la seconde phase du chantier de rénovation des programmes des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) de la filière scientifique, phase consacrée aux programmes de seconde année.

Cependant, l'écriture des nouveaux programmes de seconde année d'informatique et de langues vivantes étrangères, ainsi que de sciences industrielles de l'ingénieur (SII), pour les voies MP, PC, PT, PSI et TSI, ayant pu être menée à bien en même temps que celle des programmes de première année, cette seconde phase ne concerne plus, en fait, que les programmes de mathématiques, de physique et de chimie pour les voies MP, PC, PT, PSI, TPC et TSI, et que ceux de mathématiques, de physique, de chimie et de sciences de la vie et de la terre (SVT) pour les voies BCPST et TB (pour cette dernière voie, un enseignement de biotechnologies étant, en outre, adjoint à celui de SVT). On notera que, pour des raisons de cohérence scientifique, les programmes des deux années de SVT, pour la voie BCPST, et de SVT et biotechnologies, pour la voie TB, n'ont pas été scindés et font l'objet d'une publication globale, la présente version des programmes de première année annulant et remplaçant, sans la modifier, celle publiée dans les arrêtés du 4 avril 2013.

Ces programmes de seconde année ont été élaborés selon les mêmes principes et les mêmes modalités que les programmes de la filière scientifique publiés au printemps dernier. Du 20 mai au 30 juin 2013, ils ont fait l'objet d'une consultation publique en ligne, sur le site du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Les 233 commentaires recueillis ont donné lieu à des corrections et ajustements.

Ces programmes entrent en vigueur à la rentrée 2013 pour ceux qui concernent la première année de CPGE, et à la rentrée 2014 pour ceux qui concernent la seconde année.

Les présents arrêtés n'affectent en rien les volumes horaires des enseignements concernés.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'enseignement supérieur et
de la recherche

Arrêté du 2013

relatif aux programmes de première et seconde année de sciences de la vie et de la terre et aux programmes de seconde année de physique-chimie et de mathématiques de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la terre (BCPST)

NOR ESRS A

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

Vu le code de l'éducation, et notamment ses articles D. 612-19 à D. 612-29 ;

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 modifié, définissant les objectifs de formation et le programme des classes préparatoires de première et seconde année de biologie, chimie, physique et sciences de la terre (BCPST) ;

Vu l'avis du ministre de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt en date du 2013 ;

Vu l'avis du Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche en date du 2013 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur de l'éducation en date du 2013,

Arrêtent :

Article 1^{er}

Les programmes de première et seconde année de sciences de la vie et de la terre de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la terre (BCPST), figurant à l'annexe 1 de l'arrêté du 3 juillet 1995 modifié susvisé, sont remplacés par ceux figurant à l'annexe 1 du présent arrêté.

Article 2

Les programmes de seconde année de physique, de chimie et de mathématiques de la classe préparatoire scientifique biologie, chimie, physique et sciences de la terre (BCPST), figurant respectivement aux annexes 2, 3 et 4 de l'arrêté du 3 juillet 1995 modifié susvisé, sont remplacés par ceux figurant respectivement aux annexes 2 et 3 du présent arrêté.

Article 3

Le programme de première année du présent arrêté entre en vigueur à compter de la rentrée universitaire 2013, et ceux relatifs à la seconde année à compter de la rentrée universitaire 2014.

Article 4

Le directeur général de l'enseignement scolaire et la directrice générale pour l'enseignement supérieur et l'insertion professionnelle sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 2013

Pour le ministre de l'éducation nationale et par
délégation :
Le directeur général de l'enseignement scolaire,
J.-P. DELAHAYE

Pour la ministre de l'enseignement supérieur et de
la recherche et par délégation :
Par empêchement de la directrice générale pour
l'enseignement supérieur et l'insertion
professionnelle,
J.- M. JOLION

NB : Le présent arrêté et ses annexes seront consultables au *Bulletin officiel* du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et au *Bulletin officiel* du ministère 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 dans les classes préparatoires aux grandes écoles sont bien évidemment approfondis par rapport à ceux du lycée. Néanmoins, c'est le même esprit qui veut être à l'œuvre dans les classes préparatoires aux grandes écoles. 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 sciences de la vie et de la Terre, 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 sciences de la vie et de la Terre, 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 travaux pratiques, 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 sciences de la vie et de la Terre 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 sciences de la vie et de la Terre repose sur des cours, des travaux pratiques et des classes de terrain qui construisent de façon complémentaire des connaissances et des savoir-faire. Les Travaux d'initiative personnelle encadrés (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 Écoles, le terme de compétences étant ici pris au sens de la définition de l'Organisation de coopération et de développement économique (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 travaux pratiques 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 travaux pratiques 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 classe préparatoire constitue une étape vers l'acquisition de compétences notamment définies par les référentiels de la Commission des titres 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 sciences de la vie et de la Terre, 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 années 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.

En seconde année, sont traitées :

- au premier semestre les parties II-B, II-C, II-F, III-A, IV-D
- au second semestre les parties III-B, III-B, III-C, IV-E.

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 sexués 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.

En seconde année, sont traitées :

- au premier semestre, les parties VII, VIII-A ;
- au second semestre les parties VIII-B, VIII-C.

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	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>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).</p> <p>Le rôle biologique des molécules organiques dépend de leurs propriétés physico-chimiques et de leur réactivité.</p> <p>Des réactions d'oxydoréduction modifient et diversifient les fonctions chimiques des petites molécules biologiques. Une même molécule biologique peut appartenir à plusieurs familles.</p> <p>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 du dihydroxyacétone et qui portent plusieurs fonctions hydroxyle.</p> <p>Les di-osides sont des dimères d'oses associés par liaison osidique.</p> <p>Les lipides sont des molécules organiques hydrophobes de faible masse molaire. Ils peuvent posséder des groupements hydrophiles qui</p>	<p>Cette partie vise à décrire l'activité chimique des cellules par les transformations chimiques qui impliquent les fonctions des petites molécules et des macromolécules.</p> <p>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.</p> <p>- 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.</p> <p>- identifier la nature des réactions chimiques lors de l'analyse d'une voie métabolique (acide-base, estérification, hydrolyse, oxydo-réduction, hydratation, aldolisation) ;</p> <p>- identifier et analyser les réactions d'oxydo-réduction du vivant en termes de transfert d'électrons ;</p> <p><i>On se limitera à la description des fonctions alkyl, alcool, aldéhyde, cétone, acide, amine.</i></p> <p>Liens : Métabolisme (§ I-C) Cours de Chimie.</p> <p>- représenter les molécules suivantes sous leurs formes linéaires et cycliques : glycéraldéhyde, dihydroxyacétone, glucose, fructose, ribose, désoxyribose ;</p> <p>- représenter le saccharose et expliquer son absence de pouvoir réducteur ;</p> <p>- identifier et expliciter les liens entre oses rencontrés dans une voie métabolique (cycle de Calvin ou glycolyse) ;</p> <p>- décrire et représenter un triglycéride, un phosphoglycéride, le cholestérol ;</p> <p>- décrire et reconnaître les groupements</p>

<p>permettent la formation de micelles et de bicouches. Les glycolipides sont des molécules mixtes associant un lipide à un ou plusieurs radicaux glucidiques.</p> <p>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.</p> <p>Les nucléotides sont des molécules organiques composées d'une base azotée purique ou pyrimidique et d'un pentose phosphorylé.</p> <p>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</p> <p>Les conversions d'une famille à l'autre sont possibles.</p> <p>Oses, acides aminés et nucléotides sont également les monomères d'édifices macromoléculaires.</p> <p>I-A-2 Les macromolécules</p> <p>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).</p> <p>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</p>	<p>hydrophobes et hydrophiles d'un lipide ; - reconnaître et définir le caractère saturé ou insaturé d'un acide gras ;</p> <p><i>Aucune formule de glycolipide n'est à connaître.</i></p> <p>- 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 ;</p> <p><i>Seules l'alanine, la cystéine et la sérine sont à mémoriser.</i></p> <p>- 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 ;</p> <p><i>La seule formule exigible est celle de l'ATP.</i></p> <p>- 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 ;</p> <p><i>On se limite à l'exemple du pyruvate et de l'alanine.</i></p> <p><i>La connaissance de la formule des polyphénols n'est pas au programme.</i></p> <p>- 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</p>
---	--

<p>aux fonctions diverses</p> <p>Ils peuvent s'associer à d'autres molécules organiques.</p> <p>Les acides nucléiques sont des polymères séquencés de nucléotides. Vecteurs d'information, ils peuvent interagir avec des protéines.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Certaines protéines sont glycosylées.</p> <p>Les lipoprotéines sont des édifices complexes de protéines et de lipides.</p>	<p>structure linéaire ou spiralée de deux polymères d'oses : la cellulose et l'amidon ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - relier leur constitution, leurs propriétés physico-chimiques et leurs fonctions ; <p><i>On se limitera aux fonctions de réserve (amidon et glycogène), de structure (cellulose, chitine, glycanes) et d'information (glycanes des matrices extracellulaires).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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></p> <p>Liens : Construits sur l'exemple d'enzymes, les concepts sont réinvestis à de nombreuses autres occasions (récepteurs, interaction ADN-protéines etc.).</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter le principe d'une O-glycosylation sur sérine ;
---	---

<p>I-B Membrane et échanges membranaires</p>	
<p>I-B-1 Organisation et propriétés des membranes cellulaires</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ;

<p>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.</p> <p>Les matrices extracellulaires forment une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; - 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 ; <p><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></p> <p><i>Pour les matrices extracellulaires, on se limite à deux exemples :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - pour les végétaux, la paroi pecto-cellulosique ; - pour l'architecture d'une matrice animale, un conjonctif. <p><i>On ne fait que mentionner les parois bactériennes dont l'architecture n'est pas au programme.</i></p>
<p>I-B-3 Membranes et échanges</p> <p>Il existe différentes modalités de flux de matière entre compartiments.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ;

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 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.

- 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 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 ;
L'explication des montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible.

- 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...) ;

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.

	<p><i>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></p>
--	---

<p>I-C. Métabolisme cellulaire</p>	
<p>I-C-1. Les réactions chimiques du vivant</p> <p>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.).</p> <p>Certaines transformations donnent lieu à un couplage énergétique. Les enzymes sont les facteurs de couplage.</p> <p>Le contrôle de la réalisation des transformations dépend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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) ; <p>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.).</p>
<p>I-C-2. Biosynthèses caractéristiques</p> <p>Les transformations chimiques cellulaires permettent la réalisation de biosynthèses nécessaires au fonctionnement cellulaire et à la multiplication cellulaire.</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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></p>

<p>Un exemple de biosynthèse : la biosynthèse des protéines</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Le contrôle de la biosynthèse est un des éléments d'ajustement du protéome cellulaire, qui dépend aussi de leur renouvellement et de leur recyclage.</p>	<p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <ul style="list-style-type: none"> - relier les modalités de cette biosynthèse avec les éléments clé du transfert d'information (phase initiateur 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 ; <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><i>Ce point est simplement mentionné pour participer à la représentation de la dynamique cellulaire. Aucune précision ni développement ne sont au programme.</i></p> <p>Liens : Oses et osides (§ I-A-1) Structure et fonction des protéines (§ I-A-1) Expression de l'information génétique (§ IV-A-1.)</p>
<p>I-C-3 Aspects énergétiques du métabolisme –</p> <p>Le métabolisme peut se lire selon deux grilles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en termes de transformation de matière ; - en termes énergétiques. <p>Ces deux approches doivent évidemment être reliées l'une à l'autre.</p> <p>Les interrelations entre voies métaboliques et leurs contrôles au sein des systèmes cellulaires introduisent une troisième grille de lecture : l'information.</p>	<p>Liens avec les synthèses</p>
<p><u>I-C-3-a Métabolisme et formes d'énergie de la cellule</u></p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - indiquer les ordres de grandeur de l'enthalpie libre de réaction d'une hydrolyse d'ATP et celle du transfert transmembranaire d'un ion ;

<p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - expliquer les différents modes de conversion énergétique permettant la 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 ;
<p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 homologues 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) ; <p><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-réduction, la structure fine des photosystèmes ne sont pas exigibles. Les arguments expérimentaux éventuellement présentés ne sont pas à mémoriser.</i></p>
<p>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).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir les termes de chimiolithotrophie, chimioorganotrophie, photolithotrophie ; <p><i>Aucune précision supplémentaire concernant les « types trophiques » n'est exigible.</i></p>
<p>I-C-3-b Métabolisme et transferts de matière</p> <p>Fondements métaboliques de l'hétérotrophie L'approvisionnement des cellules en éléments chimiques fondamentaux (carbone et azote) peut être assuré par hétérotrophie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - commenter un panorama des différentes transformations subies par les molécules organiques pénétrant dans la <i>cellule eucaryote animale</i>, seul

<p>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.</p> <p>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 glyceraldéhyde 3-P dans le cytosol est une réaction clé.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Le cycle de Krebs est une voie de convergence du catabolisme. La production d'ATP est donc possible à partir de différents métabolites initiaux.</p> <p>La transformation des molécules azotées entraîne souvent une excrétion azotée.</p> <p>Fondements métaboliques de l'autotrophie</p> <p>L'approvisionnement des cellules en éléments chimiques fondamentaux (carbone et azote) peut être assuré par autotrophie.</p> <p>Dans le chloroplaste de la cellule eucaryote végétale, l'énergie lumineuse permet de réduire en molécules organiques les formes minérales des éléments.</p> <p>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 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</p>	<p>exemple exigible ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>Pour ces deux voies :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les réactions d'oxydoréduction et le couplage de certaines d'entre-elles à une transphosphorylation - établir un bilan énergétique simple ; <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - énoncer la nature des déchets azotés à l'échelle de l'organisme, sans détailler leur formation ; <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <ul style="list-style-type: none"> - 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 dispositifs de contournement de la photorespiration ; - énoncer les conséquences biologiques de la photorespiration et de son contournement à l'échelle cellulaire ;
--	--

<p>leur permet de poursuivre ainsi la fixation et de contourner l'effet de la photorespiration.</p> <p>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.</p> <p>Des transformations similaires se déroulent dans certaines cellules bactériennes chimiolithotrophes.</p>	<p><i>Les transformations chimiques autres que celles explicitement citées ne sont pas à mémoriser. L'étude détaillée de la photorespiration n'est pas attendue.</i></p> <p><i>Le métabolisme CAM n'est pas au programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 nitratante prise en exemple plus haut ; autotrophie au carbone et à l'azote) ; <p>Liens : Travaux pratiques 2^{ème} année : écosystèmes et chaînes trophiques (§ III-B), cycle des éléments dont azote (§ III-C) Autres disciplines : Physique-Chimie</p>
--	--

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

<p>Organisation fonctionnelle de la cellule</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - mise en œuvre de techniques d'études simples de la cellule - observation et identification des éléments d'organisation de la cellule (microscopie photonique - électronique) <p>avec mise en relation des représentations 2D-3D</p>
<p>Nature, propriétés et techniques d'études des biomolécules</p> <p>Cinétique enzymatique et son contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> - approche expérimentale, interprétation en termes moléculaires 	<ul style="list-style-type: none"> - 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) - suivi expérimental de la cinétique d'une réaction enzymatique, détermination de vitesses initiales dans le cas d'une cinétique michaélienne - détermination de K_M et V_{max} à l'aide d'un tableur - analyse et interprétation de données portant sur des cinétiques michaéliennes 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	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>II-A-1 Regards sur l'organisme animal Tout organisme vivant est un système thermodynamique ouvert, en besoin permanent d'énergie.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>La réalisation de l'ensemble de ces fonctions s'accompagne de mouvements de l'organisme.</p> <p>L'organisme est en interactions multiples avec son environnement biotique et abiotique. La survie individuelle dépend de systèmes de perception et de protection.</p> <p>Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent soit une régulation, soit une adaptation.</p> <p>L'étude de l'organisme relève ainsi d'approches multiples, diversifiées et complémentaires : taxonomique, écologique, agronomique, technologique.</p>	<p><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></p> <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ;
<p>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.</p> <p><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></p> <p>Liens Travaux pratiques - 2^{ème} année : respiration (§ II-C)</p>	

Travaux pratiques : première année, 5 séances

<p>Diversité des organismes pluricellulaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - Souris : (2 séances) - Poisson téléostéen - Langoustine, Ecrevisse - Criquet 	<p>L'étude des différents exemples permet de soutenir les deux chapitres précédents en étant conduite sous différents angles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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.) <p>Observations en lien avec la partie II-A-2 (morphologie et anatomie) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>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).</p> <p>Liens : § II-A, II-D Ces éléments seront complétés en seconde année (§ II-B, II-C).</p>
---	---

Seconde année

II-B Exemple d'une fonction en interaction directe avec l'environnement : la respiration	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>Les échanges respiratoires reposent exclusivement sur une diffusion des gaz et</p>	<p><i>L'argumentation est mémorisée sur un nombre réduit d'exemples : mammifère, poisson téléostéen, crustacé, insecte et s'appuie sur les observations faites en travaux pratiques.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - relier les dispositifs observés aux différentes échelles :

<p>par conséquent suivent la loi de Fick. L'organisation des surfaces d'échange respiratoires tout comme les dispositifs de renouvellement des fluides dans lesquelles elles s'intègrent contribuent à l'efficacité des échanges.</p> <p>Selon les plans d'organisation, des dispositifs différents réalisent la même fonction.</p> <p>Dans le même milieu, pour des plans d'organisation différents, des convergences fonctionnelles peuvent être détectées et reliées aux contraintes physico-chimiques du milieu de vie (aquatique ou aérien).</p> <p>La convection externe et la convection interne des fluides maintiennent les gradients de pression partielle à travers l'échangeur.</p> <p>Les caractéristiques de molécules à fonction de transport conditionnent les capacités d'échange au niveau de l'échangeur et au niveau des tissus.</p> <p>La quantité de transporteurs limite aussi la quantité de dioxygène transportée et l'activité de l'organisme.</p> <p>La modulation de la quantité de gaz échangés passe essentiellement par des variations contrôlées de la convection. Le paramètre limitant de la respiration dépend de la solubilité différentielle de l'O₂ et du CO₂ en milieu aquatique et aérien ; le stimulus du contrôle de la respiration est différent dans l'air et dans l'eau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ aux contraintes fonctionnelles (diffusion – loi de Fick) ; ○ aux contraintes du milieu de vie (densité, viscosité, richesse en eau, en dioxygène). <p>- identifier et énoncer des convergences anatomiques ou fonctionnelles ;</p> <p>- analyser la convection externe sur deux exemples : un téléostéen pour la convection externe en milieu aquatique et un mammifère pour la ventilation pulmonaire ;</p> <p>- expliquer l'optimisation des gradients de pression partielle sur un exemple d'échange à contre-courant ;</p> <p>- relier les conditions locales de la fixation et du relargage du dioxygène aux propriétés de l'hémoglobine et au fonctionnement de l'hématie. L'hémoglobine humaine de l'adulte sera le seul exemple abordé ;</p> <p><i>Les mécanismes de l'érythropoïèse et de son contrôle sont hors programme.</i></p> <p><i>Les mécanismes de contrôle de la ventilation ne sont pas au programme.</i></p> <p>Liens : § I-A-2 (protéines), § I-C-3 (respiration) TP première et seconde année</p>
---	--

II-C Un exemple d'intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme	
<p>Cette partie doit apprendre à montrer comment certains paramètres de l'organisme sont régulés (boucles de régulation) et comment des contrôles permettent l'adaptation de l'organisme à des situations particulières.</p> <p>Ces réponses se font à différentes échelles de temps (court terme, moyen terme) et d'espace (réponses locales et globales). Elles font intervenir des communications intercellulaires par des voies nerveuses et humorales qui sont étudiées ici sur un exemple.</p>	
Connaissances clés à construire	Commentaire, mise en œuvre
	<i>Cette partie porte uniquement sur l'exemple du système circulatoire des Mammifères, essentiellement l'Homme.</i>

<p>La circulation est un système de distribution à haut débit de nutriments, gaz, ions, hormones au sein de l'organisme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - présenter l'organisation générale du système circulatoire : circulation systémique et circulation pulmonaire ; - présenter les différents segments vasculaires (artères, artérioles, capillaires) sous leurs différents aspects anatomiques, histologiques, fonctionnels ; <p>Liens : Travaux pratiques, § II-A, § I-C</p>
<p>Le cœur est une pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - relier la description du cycle cardiaque au rôle de pompe du cœur ; - mettre en relation débit cardiaque, fréquence et volume d'éjection systolique ;
<p>Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des propriétés du tissu nodal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme avec la séquence de contraction ; - expliquer le lien entre le rythme cardiaque et l'activité des cellules nodales (potentiel de pacemaker) ; - établir le lien entre conductance ionique et variations du potentiel membranaire des cellules nodales ; <p><i>Le lien entre l'activité du tissu nodal et le déclenchement de la contraction des cellules musculaires cardiaques est simplement mentionné. Le mécanisme de contraction des cellules musculaires cardiaques n'est pas au programme.</i></p> <p>Lien : § I-B</p>
<p>La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir la relation entre pression artérielle moyenne et pression artérielle différentielle ; - présenter les relations entre les composantes de la pression artérielle, à l'échelle de la circulation générale comme à l'échelle de la circulation locale ; <p>Liens : Physique : analogie avec un système électrique ; mécanique des fluides</p>
<p>La pression artérielle moyenne est maintenue dans une gamme de valeurs restreinte, variable selon les individus et les conditions, par des mécanismes de régulation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - décrire les fonctions des différentes composantes d'une boucle de régulation sur l'exemple du baroréflexe ; <p><i>L'organisation du système neurovégétatif n'est pas au programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter et appliquer le concept de boucle de régulation ; - savoir expliquer des dysfonctionnements par des interactions entre génotype et environnement ou par la sénescence, toutes les données étant fournies. <i>Aucun exemple n'est à mémoriser ;</i>
<p>Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - montrer comment à partir de variations associées au début de la période d'effort, à la période d'effort puis à la fin de cette période d'effort, des régulations sont mises en jeu ainsi que des modifications permettant

<p>Les boucles de contrôle forment en réalité des réseaux interconnectés. La réponse à une situation particulière comme l'hémorragie met en jeu différentes boucles de régulation et fait intervenir des mécanismes à différentes échelles temporelles.</p>	<p>d'adapter le fonctionnement de l'organisme aux différents contextes ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque par les cellules nodales jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire ; <p>- présenter les conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter les réactions à une hémorragie à différentes échelles de temps (court terme et baroréflexe, adaptation à long terme et catécholamines, système rénine-angiotensine, aldostérone, ADH) ; <p><i>L'organisation du rein et son fonctionnement ne sont pas au programme. Les mécanismes de contrôle de la soif ne sont pas au programme.</i></p> <p><i>Pour les contrôles autres que celui de la fréquence cardiaque, les voies de transduction à l'échelle cellulaire ne sont pas au programme.</i></p>
---	---

Travaux pratiques : deuxième année, 3 séances

<p>Etude d'une fonction : la respiration</p> <ul style="list-style-type: none"> - Souris - Poisson téléostéen - Langoustine ou Écrevisse - Criquet - Moule - Planaire - « vers marins » (de type Arénicole, Néréis) 	<p>L'étude des différents exemples est conduite autour de l'optimisation des différents paramètres de la loi de Fick.</p> <p>Les observations sont menées à différentes échelles et sur des supports de natures différentes : dissections si nécessaires, coupes histologiques, analyse de diagrammes d'échanges, préparations tissulaires.</p> <p>En particulier, les relations entre l'échangeur respiratoire et la convection interne (brassage ou appareils circulatoires) font l'objet d'une attention particulière.</p> <p>Ces séances s'appuient sur ce qui a été fait lors des 5 séances de 1^{ère} année consacrées aux plans d'organisation.</p> <p>Gestes exigibles au concours :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en évidence les échangeurs respiratoires sur les exemples cités ou proches de ceux cités ; - Montage de filaments branchiaux et de trachées. <p>Pour les animaux disséqués en première année, la séance s'appuie entre autres sur des études de lames.</p>
<p>Cœur et vaisseaux sanguins</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les différentes cavités et valvules du cœur de mammifère et comprendre la mise en circulation du sang. Repérer les vaisseaux qui arrivent et partent du cœur (sur cœur réel ou/et sur modèle 3D)

	- caractériser les différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies <i>L'étude sera limitée aux artères, artérioles, veines et capillaires.</i>
Pression artérielle et régulation	<i>L'utilisation de modèles numériques portant sur le fonctionnement et le contrôle de l'activité cardiaque ou sur une régulation d'un paramètre circulatoire est possible mais non exigible.</i>

II-D Ontogenèse et reproduction	
II-D-1 Reproduction des organismes animaux et végétaux	
<p>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.</p> <p>Reproduction sexuée</p> <p>La reproduction sexuée des organismes s'inscrit dans un cycle de reproduction.</p> <p>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).</p>	<p>Liens :</p> <p>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).</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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, fécondation, moment de la sexualisation, de la multiplication et de la diversification, lien au cycle des saisons... ; <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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)

<p>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.</p> <p>La fécondation sensu stricto 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.</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>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.</p> <p>Mettre en relation l'organisation des gamètes mâles et femelle avec les modalités cellulaires de la fécondation.</p> <p><i>On se limite au modèle Mammifère (en liaison avec le § D-II).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><i>On se limite à la reproduction asexuée des Angiospermes. La parthénogenèse peut être mentionnée mais non développée.</i></p> <p>Liens : Travaux pratiques Si les travaux pratiques 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.</p> <p>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).</p> <p>2^{ème} année : Dynamique des populations (§ III-A)</p>
<p>II-D-2 Développement d'un organisme animal</p>	
<p>Développement embryonnaire et acquisition du plan d'organisation</p> <p>Le développement embryonnaire animal se déroule suivant plusieurs étapes continues</p>	<p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire les étapes du développement embryonnaire d'un Amphibien pour argumenter la mise en place

<p>(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.</p>	<p>progressive du plan d'organisation (acquisition du caractère pluricellulaire, symétrie et polarité, feuillet...) jusqu'au stade bourgeon caudal ; <i>Aucune mémorisation d'exemples complémentaires n'est exigée.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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> <p>Liens : Mitose (§ IV-B) Organisation des cellules eucaryotes et de leurs matrices extracellulaires (§ I-A, B et D)</p>
<p>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.</p> <p>Dans les grandes lignes, ces modèles d'interaction se retrouvent, non seulement chez tous les animaux, mais aussi chez les plantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>Liens : Modalités de signalisation intercellulaire (§ II-C) Propriétés des protéines et leurs interactions (§ I-A)</p> <p><i>Aucune argumentation ni connaissance n'est exigible.</i> <i>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></p>

Travaux Pratiques : première année, 5 séances

<p>Structures et cellules impliquées dans la reproduction</p>	<p>Etude des organes reproducteurs et des cellules reproductrices :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>Liens : Organisation des appareils reproducteurs observés au cours des dissections (§ II-A) Méiose (§ IV-C)</p>
<p>Développement embryonnaire des Amphibiens</p>	<p>Analyse des différentes étapes à partir d'embryons entiers ou de coupes Identification des structures et de la chronologie de leur mise en place</p>
<p>Les fleurs des Angiospermes</p>	<p>Observations, dissections, analyse de fleurs d'Angiospermes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - organisation florale en liaison avec le mode de pollinisation - organisation florale et systématique : utiliser une flore <p>Lien : Classe sur le terrain</p>
<p>Fruits et graines</p>	<p>Observations de fruits et de graines afin de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 homologies et des convergences dans la réalisation des fonctions des fruits et graines. (La typologie des fruits et des graines n'est pas au programme)
<p>Multiplication végétative des Angiospermes</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - analyse de quelques cas de multiplication végétative (organes concernés, modalités et facteurs de la multiplication...) - utiliser une clé de détermination

II-E Diversité morpho-fonctionnelle des Angiospermes

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

L'organisme fixé, vivant à l'interface entre sol et atmosphère, permet la réalisation de fonctions de nutrition exploitant ces deux compartiments ; cet organisme est **adapté au milieu terrestre**, à ses contraintes et à ses fluctuations. L'étude de la nutrition végétale prépare une approche écologique (§ III-B).

Des corrélations trophiques et hormonales au sein de l'organisme, comme chez les animaux (§ II-A & D), assurent le fonctionnement intégré de l'organisme et son adaptation au milieu (en particulier au rythme saisonnier tempéré).

La comparaison avec le modèle animal permet de **dégager l'unité** des systèmes de contrôle du développement des pluricellulaires **mais aussi la spécificité** du développement végétatif et reproducteur des Angiospermes, en relation avec leur plan d'organisation, leur mode de vie fixée et l'intégration de signaux environnementaux (§ II-D-2).

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>II-E-1 Nutrition des Angiospermes en liaison avec le milieu</p> <p>Absorption d'eau et d'ions et lien avec le milieu de vie</p> <p>Le végétal exploite le sol par une absorption racinaire d'eau et d'ions minéraux mettant en action des échanges membranaires (pompes à ions, canaux et transporteurs). Cette absorption s'effectue soit directement à partir de la solution du sol, soit, le plus souvent, grâce au fonctionnement d'associations symbiotiques (mycorhize). L'absorption de l'eau suit le gradient de potentiel hydrique mis en place. L'absorption d'eau et d'ions est à l'origine de la sève brute.</p> <p>Les stomates permettent un flux d'eau par transpiration qui met en mouvement la sève brute dans le xylème, tout en permettant les échanges de CO₂ et O₂ entre l'atmosphère externe et l'atmosphère interne du végétal. Ces échanges, qui jouent à la fois sur l'équilibre hydrique du végétal et sur son métabolisme, sont contrôlés.</p> <p>Des caractéristiques adaptatives liées aux échanges nutritifs ont été sélectionnées dans des milieux particuliers.</p> <p>Distribution des assimilats</p>	<ul style="list-style-type: none"> - préciser l'existence de deux grandes voies d'entrées : une par les mycorhizes, l'autre par les poils absorbants ; - utiliser la notion de potentiel hydrique et de potentiel électrochimique pour discuter des flux d'eau et d'ions ; - présenter le fonctionnement général d'une mycorhize, <i>aucun mécanisme moléculaire n'est exigible</i> ; <p><i>Les mécanismes de mise en charge du xylème sont hors programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer le fonctionnement des stomates et son contrôle par différents agents ; <p><i>Les seuls facteurs exigibles sont la lumière et l'humidité relative ; les mécanismes moléculaires détaillés sont hors programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer la montée de la sève brute ; <p><i>Les mécanismes de couplage avec la circulation de la sève élaborée sont hors programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation les modifications morpho-anatomiques observées en milieu sec (tolérance ou limitation des pertes en eau) ou aquatique avec les contraintes spécifiques liées aux conditions de milieu ; <p><i>En relation avec les observations réalisées en travaux pratiques, les éléments mémorisés sont limités aux grands types de dispositifs, sans qu'aucun détail ne soit exigible.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire les principales corrélations trophiques entre

<p>photosynthétiques au sein du végétal Les photosynthétats produits dans les organes sources sont distribués dans les organes puits via la sève élaborée, en particulier de réserve, avec une périodicité quotidienne et, en milieu tempéré par exemple, saisonnière.</p>	<p>organes au sein du végétal et les relier à leur périodicité quotidienne ou saisonnière ; - présenter les voies de circulation apoplasmiques et symplasmiques ; - identifier et analyser la fonction de réserve d'un organe végétatif au choix à l'échelle de l'organe, de la cellule, des molécules (mise en réserve, nature des réserves, localisation, mobilisation) ; - pour l'organe de réserve choisi, mettre en relation mise en place et mobilisation des réserves avec les contraintes saisonnières du milieu tempéré ;</p> <p><i>L'étude des mécanismes est limitée à un exemple pris sur un organe de réserve.</i></p> <p>Liens : Travaux pratiques, § I-A-2, § I-C-3, § II-E-2, § II-F, § III-B</p>
<p>II-E-2 Développement des Angiospermes</p> <p>Développement végétatif à l'interface sol/air Le développement végétatif met en place un organisme vivant à l'interface entre le sol et l'air. Les zones apicales comprennent des zones de division (mérèse) et de croissance cellulaire (auxèse). Le fonctionnement de l'apex caulinaire, responsable d'une croissance indéfinie des organes aériens, détermine en outre la position des différents organes aériens.</p> <p>Les facteurs biotiques et abiotiques du milieu influent sur le développement, et participent à l'adaptation à la vie fixée.</p> <p>Développement de l'appareil reproducteur Le développement reproductif met en place la fleur par transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur, inflorescentiel ou floral. Le développement floral et l'identité des organes floraux sont déterminés par des gènes, dont certains, comme chez les</p>	<p>- repérer les zones de croissance au niveau d'un organisme angiosperme ; - présenter l'implication de deux mécanismes cellulaires (mérèse et auxèse) dans la croissance ; - décrire l'organisation du méristème apical caulinaire végétatif et la relier à la mise en place d'organes et de tissus ;</p> <p>- expliquer les effets de l'auxine dans le contrôle de l'auxèse ; <i>Seules sont exigibles les connaissances portant sur le méristème apical caulinaire. Le contrôle du développement végétatif, la voie de transduction et les mécanismes moléculaires de transport de l'auxine ne sont pas au programme.</i></p> <p>- attribuer à des influences biotiques des modifications du développement ; <i>on se limite à un des exemples vus en TP (mycorhize, nodosité) sans détailler les mécanismes ;</i></p> <p><i>L'influence des facteurs abiotiques n'est abordée qu'à partir du développement reproducteur.</i></p> <p>Liens : § I-B-2, § IV-B</p> <p>- décrire l'évolution du méristème apical caulinaire végétatif en un méristème floral produisant des organes floraux ; - identifier l'implication de certains gènes contrôlant</p>

<p>animaux, sont des gènes homéotiques, et impliquent des activations en cascade.</p> <p>Dans les milieux tempérés, cette transition s'effectue en lien avec des facteurs environnementaux.</p>	<p>cette transition en montrant leur caractère homéotique ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter un modèle de contrôle génétique de la détermination de l'identité des organes floraux ; <p><i>Limite : seul l'exemple des fonctions ABCE dans le modèle Arabidopsis est étudié ; la nomenclature des gènes impliqués n'est pas exigible.</i></p> <p>Liens : Gènes homéotiques (§ II-D-2) et fonctions de la fleur (§ II-D-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter l'action de facteurs environnementaux contrôlant le rythme saisonnier de la floraison ; <i>On se limite à un exemple de l'effet de la vernalisation et de la photopériode.</i> - présenter l'existence d'un relai hormonal ; <i>Le détail des hormones intervenant dans la floraison et leur mécanisme d'action ne sont pas exigibles.</i>
---	---

Travaux pratiques : seconde année

<p>Organisation générale et lien avec le développement.</p> <p>Etude morphologique, anatomique et fonctionnelle des tiges, des feuilles et des racines (relation structure-fonction) et adaptation au milieu.</p> <p>Adaptation à la fonction de réserve des organes et tissus végétatifs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - organisation générale de l'axe végétatif (tige, feuille et racine) - identification des unités de croissance - bourgeon (dissection) - observation d'ectomycorhizes - observation de cernes en lien avec la saisonnalité - coupe de limbe de feuille - coupes de tiges (structures primaires et secondaires) - coupes de racines (structures primaires et secondaires) - adaptation des feuilles et tiges au milieu sec : sclérophytes et malacophyte - anatomie des feuilles de plantes en C4 - adaptation au milieu aquatique : développement de l'aérenchyme, évolution régressive liée au retour en milieu aquatique <p>Gestes exigibles au concours :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser des coupes à main levée avec coloration au carmino-vert - reconnaître les structures assurant la fonction de réserve et celle protection (y compris en dégagant des convergences évolutives) - réaliser une coloration à l'eau iodée afin de mettre en évidence des réserves amylacées. - utiliser les représentations conventionnelles pour réaliser des schémas d'interprétation des coupes (les codes restant à la disposition des étudiants) ; <p>Tissus à savoir reconnaître :</p>
---	--

	<p>parenchyme chlorophyllien, parenchyme de réserve, xylème, phloème, épiderme, sclérenchyme, collenchyme, endoderme, méristème</p> <p><i>L'étude anatomique est réalisée à partir de coupes à main levée ou de lames du commerce. La détermination de la position systématique et du type d'organe sont hors programme.</i></p>
--	--

II-F Diversité morpho-fonctionnelle des organismes

Cette partie correspond à une présentation d'un plus grand nombre de modèles autres que ceux déjà rencontrés (§ II-A à E) et concerne donc les organismes qui ne sont ni des métazoaires, ni des Embryophytes. Outre les grands traits de leur organisation, on montre ici que des fonctions du vivant peuvent être assurées dans des milieux différents et/ou avec des plans d'organisation différents, y compris à l'état unicellulaire. Les fonctions choisies, **nutrition** et **croissance**, sont mises en regard avec la façon dont elles sont réalisées chez les Métazoaires (§ II-A à D) et les Embryophytes (§ II-E).

Cette partie est un **temps de synthèse**, permettant de regrouper et d'ordonner les apports des séances de travaux pratiques, de façon à relier les modalités de réalisation des fonctions biologiques à une adaptation au milieu et/ou aux contraintes du plan d'organisation. Elle permet de présenter les organismes nécessaires à la compréhension des mécanismes écologiques du § III-B et complète le panorama de la biodiversité qui sera reprise dans un canevas phylogénétique et évolutif au § IV-E.

Les notions sont illustrées à partir des seuls exemples vus en TP. Ni les cycles de reproduction, ni les mécanismes moléculaires de la croissance ou de la nutrition ne sont à connaître.

Connaissances clés à construire	Commentaire, mise en œuvre
<p>II-F-1 Organismes pluricellulaires</p> <p>Les organismes pluricellulaires sont formés de cellules différenciées ou non, organisées ou non en tissus, voire en organes.</p> <p>En milieu aquatique, il existe des autotrophes pluricellulaires dont la nutrition repose sur la diffusion entre le milieu extérieur et l'organisme et, pour certains, sur des échanges intercellulaires au sein de l'organisme.</p> <p>En milieu aérien principalement, certains hétérotrophes au carbone sont constitués de filaments pluricellulaires (champignons), dont la croissance permet l'exploration du milieu et</p>	<ul style="list-style-type: none"> - relier mode de croissance (diffuse ou localisée) et plan d'organisation ; - relier la structure de l'organisme, les caractéristiques de la croissance aux modes de nutrition (autotrophie / hétérotrophie) ; - chez les autotrophes, identifier des surfaces d'échanges, des surfaces photosynthétiques ; - expliquer le rôle du pyrénocyste dans la concentration du CO₂, comme une alternative au métabolisme C₄ vu en milieu aérien ; <p><i>Limites : Les mécanismes moléculaires des échanges membranaires de nutriments, le détail des voies métaboliques, la liste et la structure moléculaire des pigments ne sont pas au programme.</i></p> <p>Liens : Métabolisme photosynthétique (§ I-C-3), Angiospermes aquatiques (§ II-E-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - relier l'exodigestion et l'absorbotrophie aux caractéristiques structurales des champignons (présence d'une paroi, mycélium diffus et ramifié explorant le milieu) ;

<p>le prélèvement de matière organique par absorbotrophie, voire exodigestion, à partir de substrats morts (saprotrophie ou nécrotrophie parasite) ou vivants (biotrophie, mutualiste ou parasite).</p> <p>II-F-2 Organismes unicellulaires Certains organismes assurent l'ensemble des fonctions au niveau d'une seule cellule (vie unicellulaire).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - relier l'existence de structures végétatives complexes à des modes de nutrition particuliers (lichen, ectomycorhize) ; - illustrer la diversité des modes trophiques utilisés par les champignons ; <p>Lien : Mycorhize (§ II-E-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer que les modes trophiques déjà vus dans les paragraphes précédents du § II, peuvent être réalisés à l'échelle d'une cellule ; - mode autotrophe (diatomée ou euglène) ; - mode hétérotrophe absorbotrophe, voire avec exodigestion (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Plasmodium</i> ou <i>Trypanosoma</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Rhizobium</i>), - mode hétérotrophe phagotrophe de type animal (paramécie ou amibe) ; <p>Liens : Métabolisme (§ I-C-3), reproduction (§ II-D), écosystèmes (§ III-B)</p>
---	--

Travaux pratiques : deuxième année, 3 séances

<p>Diversité des organismes</p> <ul style="list-style-type: none"> - « Champignons » au sens large et écologique : <i>Sordaria</i>, un champignon ectomycorhizien (étude de la mycorhize), <i>Saccharomyces cerevisiae</i> - un lichen - un parasite (un agent du Mildiou) - « Algues » au sens écologique : <ul style="list-style-type: none"> - unicellulaire (diatomée) - filamenteuse (rouge, type <i>Antithamnion</i> ou <i>Polysiphonia</i>) - en lame (<i>Ulva</i>) - à structure complexe (<i>Fucus</i>) - Eubactérie : <ul style="list-style-type: none"> - unicellulaire hétérotrophe (<i>Escherichia coli</i> ; <i>Rhizobium</i> sp.) - pluricellulaire autotrophe (cyanobactérie : <i>Nostoc</i> sp.) - Eucaryotes unicellulaires hétérotrophes : <ul style="list-style-type: none"> - une paramécie ou une amibe phagotrophe - un unicellulaire parasite (<i>Plasmodium</i> ou <i>Trypanosoma</i>) 	<p>L'étude des différents exemples appuie non seulement l'étude de la diversité des organismes (§ II-F) mais aussi la phylogénie des Eucaryotes (§ IV-E). La nutrition mycorhizienne des végétaux (§ II-F) et les relations interspécifiques (§ III-B) sont également illustrées ici. L'exemple de <i>Sordaria</i> est proposé en rappel de la génétique (§ IV-C).</p> <p>Pour tous ces organismes, les observations et manipulations effectuées à partir de matériel vivant, de lames mais aussi de micrographies (microscopie électronique) et de documents vidéo-microscopiques, servent de support à la compréhension :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des caractéristiques du plan d'organisation général et cellulaire - des modalités de croissance - de la réalisation des fonctions de nutrition (échanges, photosynthèse, fixation de l'azote) - des fonctions de reproduction, chez les champignons lorsque c'est possible, chez le <i>Fucus</i> ; <i>mais les cycles ne sont pas attendus ni l'identification exacte des cellules reproductrices (spore ou gamète)</i> <p>Gestes et compétences exigibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser des préparations microscopiques et utiliser des colorants de montage :
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> — coloration de mycéliums au bleu coton lactique et d'algues possédant de l'amidon à l'eau iodée — montage et coupes transversales d'ectomycorhizes colorées ou non, — coupes transversales dans le thalle et dans les réceptacles de <i>Fucus</i> — frottis bactériens et coloration Gram - repérer les structures subcellulaires au microscope photonique (plastides, vacuoles, pyrénoides, amidon, gouttelettes lipidiques, synapses...) - proposer des extrapolations sur les liens entre structure et fonction notamment dans les tissus d'organes complexes (<i>Fucus</i>, ectomycorhize, lichen), ou des adaptations à un mode trophique - analyser des electronographies et des documents vidéo-microscopiques - savoir trouver des ectomycorhizes dans un sol forestier <i>ad hoc</i> <p>Lien : Diversité pigmentaire, Travaux pratiques associés au § I</p>
--	---

III – Populations, écosystèmes, biosphère

La dynamique des populations repose tout d'abord sur la capacité des êtres vivants à se reproduire mais aussi à se développer (§ II-D). En abordant progressivement les échelles supérieures à celle de l'organisme (population, communauté, écosystème, biosphère), cette partie amène à construire des représentations dynamiques des systèmes vivants. Les modèles construits reposent sur des approches à la fois qualitatives et quantitatives, en lien étroit avec les autres parties du programme. Elles visent à rendre compte du fonctionnement de ces systèmes, de leur évolution, de mieux comprendre les conséquences des activités humaines pour servir de support à des projections destinées entre autres à éclairer les décisions visant une gestion systémique et intégrée du vivant.

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
III-A Les populations et leur dynamique	
<p>Les organismes sont répartis en populations dont les effectifs varient au cours du temps, selon la valeur des paramètres démographiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier et énoncer les principaux paramètres démographiques (natalité, mortalité, sex-ratio, fécondité, taux d'accroissement) ; - analyser une variation d'effectif de population sous l'effet de facteurs indépendants de la densité (facteurs du biotope), ou de facteurs dépendant de la densité (cas de la densité-dépendance : croissance logistique) et de la prédation (modèle de Lotka-Voltera) ; - sur l'exemple du modèle logistique, discuter de la relation avec le réel, les limites, l'intérêt ; notamment présenter le compromis (« trade-off ») entre reproduction et croissance au travers des « stratégies r et K » ; <p>Liens : Mathématiques, Travaux Pratiques</p>

<p>L'espèce est formée d'un réseau de populations potentiellement interconnectées par la dispersion. Certaines populations présentent des adaptations locales (écotypes).</p> <p>Les populations constituent des réservoirs d'allèles (polymorphisme génétique) qui sont transmis par des systèmes de reproduction variés. La fréquence des allèles et leur répartition spatiale changent au cours du temps, sous l'influence de facteurs internes, appariement ou choix du partenaire sexuel, et externes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - présenter sur un exemple la diversité des populations d'une espèce ; - exploiter des données montrant la divergence génétique des populations, et les interpréter en termes d'adaptation, d'événements fondateurs ou de migrations inter-populationnelles ; <p>Lien : § IV-D</p> <ul style="list-style-type: none"> - exploiter des données montrant le polymorphisme ; - présenter, le modèle de Hardy-Weinberg comme modèle par défaut (« modèle nul ») et discuter les sources d'écart à l'équilibre (en particulier l'homogamie et l'hétérogamie) ; <p>Liens : Sélection, adaptation et dérive sont envisagés en lien avec le § IV-D; les variations démographique font apparaître le rôle des liens trophiques (§ III-B).</p>
---	---

III-B Les écosystèmes, leur structure et leur fonctionnement	
<p>L'écosystème est un ensemble circonscrit par un observateur/expérimentateur, définissant ainsi un objet d'étude. La biocénose, ensemble des populations des différentes espèces, y compris microbiennes, forme avec le biotope les éléments de l'écosystème. La distribution spatiale de ces éléments détermine en partie la structure de l'écosystème.</p> <p>Au sein de l'écosystème, les espèces entretiennent entre elles des relations variées qui affectent notamment le fonctionnement des organismes et la structure de leurs populations. Ces relations restreignent la niche écologique potentielle en une niche écologique réalisée.</p>	<p>Dans toute cette partie, le concept d'écosystème est abordé, sauf mention contraire, à partir de l'exemple de la pâture de bovins en zone tempérée. Cet exemple permet de définir l'organisation d'un écosystème et de montrer son fonctionnement, tout en prenant en compte l'importance particulièrement forte des interventions humaines (« agrosystème »). Loin de constituer une monographie, il met en place un canevas général d'analyse du fonctionnement des écosystèmes. Cette partie s'appuie fortement sur des exemples d'organismes vus ailleurs dans le programme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - définir biotope (= milieu), biocénose (= communautés), écosystème ; - organiser la description de la structuration spatiale de l'écosystème (strates, sol, fraction microbienne, distribution des espèces, notion d'espèce « architecte » ou espèce « ingénieur ») ; - définir l'agrosystème comme un exemple particulier d'écosystème anthropisé ; <ul style="list-style-type: none"> - illustrer la diversité des relations trophiques interspécifiques (mutualisme, parasitisme et prédation / phytophagie) et montrer qu'il existe des formes intermédiaires ; - discuter de l'appartenance d'une relation à l'une ou l'autre de ces catégories à partir d'éléments fournis ; - prendre en compte l'effet sur la valeur sélective (« fitness ») dans la définition d'une relation interspécifique ; <p><i>On se limite à des exemples vus en cours ou en travaux pratiques (mycorhizes, mildiou, Plasmodium, vache...).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - définir et exposer un exemple de compétition

	<p>interspécifique pour les ressources ; <i>On se limite à un exemple de lutte pour la lumière chez les végétaux (en s'appuyant sur un écosystème forestier) et d'antibiose chez les micro-organismes.</i> - définir la notion de niche écologique potentielle ; - relier les interactions interspécifiques à la dynamique d'une population et à la délimitation de la niche écologique réalisée ; <i>On se limite à un exemple de rétroaction positive ou négative (cas de l'effet Janzen-Connell).</i> - relier l'effet de ces interactions à la structure des biocénoses ; - définir en particulier une espèce « clef de voûte » ; <i>On se limite à l'exemple des bovins, clef de voûte de l'entretien d'un stade intermédiaire dans des successions végétales, la connaissance des successions elles-mêmes n'étant pas exigible.</i></p> <p>Liens : Travaux Pratiques, § II-F, § III-A pour la dynamique des populations ; la compétition pour les ressources est un moteur de la sélection naturelle (§ IV-D)</p>
<p>Les interactions trophiques peuvent être représentées sous forme de chaînes trophiques et de pyramides trophiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir une chaîne trophique et un niveau trophique ; - relier, pour chaque niveau trophique, prélèvement, rejet de matière et production de biomasse ; - définir production, productivité, temps de séjour, rendement ; - construire et analyser un bilan quantitatif de ces transferts entre niveaux trophiques ; <ul style="list-style-type: none"> - discuter la place de la vache (un ruminant) dans les pyramides de production (en biomasse et énergie) correspondant au système herbe-vache-homme en considérant la vache comme une symbiose entre microbes (consommateurs 1 ou 2) et animal-hôte (consommateur d'ordre supérieur ou égal à 2) - discuter le rôle de la symbiose dans le couplage entre niveaux trophiques et le rendement du transfert ; - montrer l'influence de paramètres abiotiques sur la production primaire ; <p>Liens : § I-C, § II-E</p> <p><i>Aucune valeur numérique n'est à mémoriser.</i></p>
<p>Les chaînes trophiques sont interconnectées en un réseau trophique. Le fonctionnement de ces réseaux contribue au recyclage de la biomasse au sein de l'écosystème (cycle de la matière).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir la notion de réseau trophique ; - relier la complexité des réseaux trophiques à l'existence de polyphages, dont en particulier des consommateurs microbiens ; - montrer que le catabolisme de tous les consommateurs (y compris microbiens) aboutit à une minéralisation ; - définir la notion de décomposition et la relier à l'existence de consommateurs microbiens, capables d'utiliser les matériaux complexes (lignine, cellulose) ;

<p>L'écosystème est un système ouvert. Le fonctionnement de l'écosystème repose sur un flux d'énergie et des transferts de matière en partie cycliques.</p> <p>Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques. Des modifications naturelles ou d'origine anthropique peuvent faire évoluer leur état, d'une façon plus ou moins réversible selon la résilience du système.</p> <p>Les estimations quantitatives associées aux caractéristiques d'un écosystème (production, productivité, biomasse, flux énergétique...), l'évaluation de l'influence de différents paramètres, constituent des guides dans la gestion des écosystèmes.</p>	<p>Liens : § II-E-2, § I-C, § III-C</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyser le flux d'énergie, de son entrée dans l'écosystème et la biomasse à sa restitution sous forme de chaleur ; établir le lien entre la production primaire et l'utilisation de l'énergie du Soleil (phototrophie), voire de réactions chimiques (chimolithotrophie - cas de la nitrification) ; - établir un bilan quantitatif des exportations / importations d'une pâture, les informations étant fournies ; <p><i>Aucune donnée numérique n'est à mémoriser.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier des facteurs agissant sur la biodiversité au sein d'un écosystème ; - à partir de bilans qualitatifs et quantitatifs fournis, montrer que des modifications d'origine biotique (exemple du surpâturage et ou d'une espèce envahissante) ou abiotique (exemple de l'eutrophisation) peuvent modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème ; - expliquer sur un exemple les effets d'une variation de la biodiversité sur le fonctionnement d'une pâture et en particulier sur les services écosystémiques ; - définir la notion de résilience. <i>Aucun exemple n'est à mémoriser ;</i> <p>Liens : § I-C, § II-E</p>
---	---

<p>III-C Flux et cycles biogéochimiques : l'exemple du carbone</p>	
<p>Un élément comme le carbone se trouve dans différents réservoirs : biomasse vivante et fossile, carbone oxydé (CO₂, CO et carbonates dissous ou précipités), méthane.</p> <p>Des flux physico-chimiques et/ou biotiques relient ces réservoirs, qui diffèrent par le temps de séjour de l'élément. Les organismes vivants ont un rôle majeur dans les équilibres de dissolution et de précipitation des carbonates.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir un réservoir ; - énumérer les principaux réservoirs du carbone, ainsi que l'ordre de grandeur de leurs tailles respectives ; - représenter un cycle biogéochimique du carbone ; <p>Limites : la taille exacte des réservoirs et les réservoirs marginaux ne sont pas attendus.</p> <p>Lien : métabolisme énergétique (§ I-C)</p> <ul style="list-style-type: none"> - connaître un exemple de réservoir créé et détruit de façon biotique et abiotique : le méthane externe (<i>le détail des mécanismes de production et de consommation/destruction ne sont pas au programme</i>) ; - connaître l'ordre de grandeur de quelques flux annuels et temps de séjour dans le cas du CO₂ atmosphérique (échanges avec l'océan et avec la biomasse par photosynthèse / respiration) ; - expliquer le rôle des organismes vivants dans l'équilibre de dissolution-précipitation des carbonates ; - expliquer l'existence de carbone organique fossile

<p>Le cycle du carbone est lié à d'autres cycles et contribue à des paramètres globaux comme le climat.</p> <p>L'homme est désormais un agent déterminant de la dynamique du cycle du carbone.</p>	<p>comme un recyclage plus lent ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendre que la genèse du dioxygène et d'autres oxydants (Fe^{3+}, sulfates, nitrates) résulte de la production primaire, et que leur persistance correspond à l'existence de carbone organique fossile ; - comprendre les liens entre certains réservoirs et l'effet de serre ; - expliquer l'origine et le devenir du CO_2 émis par l'homme au regard de la connaissance du cycle du carbone acquise plus haut ; - expliquer l'impact de l'utilisation des combustibles fossiles, de l'agriculture et de la déforestation, <i>via</i> le CO_2 et le CH_4, sur le climat ; <p><i>Les valeurs des flux d'origine anthropique ne sont pas exigibles, pas plus que les divers scénarios produits par le GIEC.</i></p> <p>Liens : cette partie s'appuie sur les exemples de métabolismes vus ailleurs dans le programme, dont les exemples liés à la pâture.</p>
--	---

Travaux pratiques : seconde année

Outre l'utilisation de supports documentaires, l'étude des populations, des écosystèmes et de leur dynamique se prête à des approches pratiques variées. Des approches concrètes sont possibles, reposant en particulier sur des élevages simples réalisés en conditions contrôlées, et pouvant donner lieu à diverses formes de travail des étudiants réparties dans le temps. En liaison avec le programme de mathématiques et d'informatique, la conception de modèles numériques est possible sous des formes variées et à différents niveaux de complexité (programmation sous python, utilisation de tableurs). La discussion de la pertinence de ces différents types de modèles et de leurs limites inscrit l'utilisation de documents dans le va-et-vient entre données (provenant de la littérature ou résultant de l'expérimentation directe) et théorie qui fonde les démarches scientifiques. Elle peut aussi déboucher sur des analyses de cas plus concrètes impliquant la gestion des agrosystèmes et permettant de construire des regards croisés avec les problématiques étudiées en géographie dans le cadre des territoires ruraux. La classe sur le terrain réalisée en seconde année permet d'illustrer de façon concrète mais forcément très limitée cette partie du programme.

<p>Les populations et leur dynamique</p>	<ul style="list-style-type: none"> - étude du modèle logistique - exemple de stratégies r et K - un exemple de dynamique de type Lotka-Voltera - loi de Hardy-Weinberg (pour deux allèles) et discussion de son champ de validité (migration, mutation, sélection, dérive et choix d'appariement : cas trivial du déterminisme du sexe chez les mammifères) <p>Des approches expérimentales sont réalisables :</p> <ul style="list-style-type: none"> - modélisation numérique - étude expérimentale de l'évolution d'une population soumise à des pressions variables de prédation et/ou à des milieux différents. sur un système proie-prédateur microbien (par exemple algue-paramécie) ; mesures par comptage...
---	--

	- utilisation possible de modélisations numériques en liaison avec le programme d'informatique
Les écosystèmes, leur structure et leur fonctionnement	- analyse qualitative, reconstitution d'une chaîne trophique, réalisation d'une pyramide des nombres et des biomasses (supports possibles : Berlèse, plancton, lichen) - analyse de données quantitatives (production, productivité d'écosystème, transferts de matière etc.)
Flux et cycles biogéochimiques : Cycle du carbone	- discussion autour des cycles : recyclage rapide de la matière organique <i>versus</i> recyclage lent (biomasse fossile) - nature des perturbations anthropiques (origine et devenir du CO ₂ émis) - manipulation des notions générales pour les cycles (flux, temps de résidence) - montrer les liens au cycle de l'azote
Cycle de l'azote	- discussion de représentations du cycle de l'azote, à partir des connaissances acquises en cours, prédiction des tronçons manquant pour boucler <i>a minima</i> le cycle avec utilisation de documents fournis - lien entre échanges entre réservoir et données métaboliques connues (échelle moléculaire et cellulaire) - discussion à partir de documents fournis, de l'action de l'homme sur les différents cycles (N et C) <i>Le cycle de l'azote n'est abordé qu'en travaux pratiques. Sa mémorisation n'est pas exigible.</i>

IV – La biodiversité et sa dynamique

IV-A Génomique structurale et fonctionnelle	
<p>IV-A-1 Génome des eubactéries – génome des Eucaryotes</p> <p>L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent forment son génome.</p> <p>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).</p>	<p>- utiliser des résultats de techniques de séquençage pour analyser et décrire les génomes</p> <p>- comparer les génomes des eubactéries et des Eucaryotes, les grands traits de leur organisation, de leur expression et de sa régulation ;</p> <p>Lien : Phylogénie (§ IV-E)</p> <p><i>On ne détaille pas l'organisation moléculaire du chromosome bactérien.</i></p>

<p>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.</p> <p>IV-A-2 L'expression du génome : la transcription et son contrôle</p> <p>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. Chez les Eucaryotes, à partir de transcrits de gènes morcelés, différents processus de maturation post-transcriptionnelle des ARN messagers conduisent à la séquence traduite.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Le contrôle de l'expression de l'information génétique fait aussi intervenir des petits ARN.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><i>On limite les éléments à mémoriser au strict nécessaire Seul l'exemple de l'ARN polymérase II eucaryote est à connaître. Le complexe d'initiation est présenté globalement ; sa composition et l'organisation du promoteur ne sont pas à mémoriser.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><i>La présentation de l'opéron, de sa structure et de son fonctionnement est faite sans démonstration.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter un exemple de contrôle de l'expression de l'information génétique par petit ARN ; <p>Lien : Protéines (§ I-A) et interactions protéines ligands (§ I-C) Développement et contrôle de l'expression des</p>
--	---

<p>Chez les Eucaryotes, la diversité des régulations de transcription et des maturations post-transcriptionnelles explique en grande partie la diversité des transcriptomes.</p> <p>A une autre échelle de temps, les profils d'expression génétique sont parfois héréditaires, en l'absence de mutation (épigénétique).</p>	<p>gènes (§ III-D-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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	
<p>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.</p> <p>IV-B.1 Duplication de l'information génétique : conservation et variation</p> <p>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.</p> <p>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 ».</p> <p>IV-B.2 Cycle cellulaire, mitose et répartition du</p>	<p><i>Par souci de simplification, la réplication du matériel génétique sera étudiée chez une Eubactérie.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; - expliquer le principe du fonctionnement général d'une ADN polymérase (réaction catalysée, sens de lecture et sens de synthèse, rôle des d'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 ; <p>Lien : Mutations (§ IV-C)</p>

<p>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.</p> <p>La cytokinèse ne suit pas obligatoirement la division du noyau ce qui conduit alors à des syncytiums.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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'égalité répartition des chromosomes, donc de l'information génétique ; <p><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></p> <p><i>On mentionne les structures syncytiales sans développement (Oomycètes, voir IV-E).</i></p>
--	--

<p>IV-C La diversification des génomes</p>	
<p>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.</p> <p>Certaines mutations modifient la structure des chromosomes (délétions, inversions, duplication, translocation).</p> <p>Quel que soit le mécanisme, les mutations sont la seule source de diversification des allèles.</p> <p>IV-C.2 Brassage génétique et diversification des génomes La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles.</p> <p>Chez les Eucaryotes, la méiose contribue à la diversification des génomes. En unissant des génomes haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes.</p> <p>D'autres processus liés à la reproduction sexuée à l'échelle des organismes et des populations interviennent dans cette diversification.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <ul style="list-style-type: none"> -relier les principaux évènements cytogénétiques de la méiose avec leurs conséquences sur le brassage allélique ; - argumenter les processus de brassage génétique en s'appuyant sur le principe de quelques croisements simples mais différant par deux couples d'allèles pris chez les organismes 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 ; <p>Liens : § II-D, III-A, IV-D</p>

<p>Chez les eubactéries (et dans une moindre mesure chez les Eucaryotes), des modifications du génome sont possibles par transferts horizontaux de gènes.</p>	<p>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)</p> <p><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></p> <p>- exposer deux exemples de transfert horizontal, l'un chez les eubactéries, l'autre chez les Eucaryotes ;</p> <p>Liens : Hybridation (§ IV-D) et endosymbiose (§ IV-E)</p>
---	--

Première année : Travaux Pratiques associés aux IV-A, IV-B, IV-C

<p>Quelques outils pour l'étude des génomes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>Lien : Phylogénie (§ IV-E)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>) <p><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></p> <p>Lien : Cours § IV-A</p>
<p>Chromosomes, mitose et méiose</p>	<ul style="list-style-type: none"> - réaliser une préparation microscopique afin d'identifier différentes phases de la mitose - exploiter des lames et des clichés microscopiques à différentes échelles (repérage)

	<p>des différentes phases, organisation des chromosomes et du fuseau de division de cellules végétales et animales)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>- analyse de résultats de croisement chez <i>Sordaria</i></p> <p>Liens: Cours § IV-A et IV-B</p>
--	--

IV-D Les mécanismes de l'évolution	
<p>La diversité du vivant, constatée dans plusieurs parties du programme (notamment de première année), varie au cours du temps et est le résultat d'une histoire passée : c'est l'évolution.</p> <p>Il s'agit ici de dégager les principaux mécanismes d'évolution en montrant le devenir de la diversité génétique et du flux de gènes interindividuel décrits dans les paragraphes précédents. Les processus produisant la diversité ayant déjà été abordés, on analyse ici les mécanismes de maintien ou de réduction de la diversité produite, soit par des tris sélectifs, soit par des processus aléatoires. Les études réalisées, notamment basées sur l'évolution expérimentale, permettent d'argumenter le fait que l'évolution ne peut pas être présentée en termes de « progrès », qu'elle peut être « simplificatrice », qu'elle n'a ni direction, ni but. De même, tous les organismes évoluent : en ce sens, il n'y a ni fossile vivant, ni organisme primitif, ni pérennité de l'espèce.</p>	
Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>Les mécanismes de l'évolution peuvent être approchés par l'évolution expérimentale.</p> <p>La sélection est un processus de reproduction différentielle, où la valeur sélective (« <i>fitness</i> ») se mesure au nombre de descendants produits. Elle exerce un tri orienté de la diversité génétique, mais peut aussi entretenir un polymorphisme.</p> <p>La dérive exerce un tri aléatoire dépendant de la taille des populations ; elle est seule à agir sur les</p>	<ul style="list-style-type: none"> - montrer le caractère aléatoire des mutations (expérience de Luria & Delbrück) ; - définir les notions de sélection et d'adaptation (mélanisme de la Phalène du bouleau) et de dérive (expérience de Buri) ; <p>Liens : Mutations (§ IV-C)</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer que la valeur sélective d'un trait génétique dépend de l'environnement ; - différencier les notions de sélection directionnelle (cas de la Phalène du Bouleau) et de sélection balancée (cas des proportions de mâles et de femelles) ; <p>Liens : Cette partie s'appuie sur les notions de compétition (§ III-B) et de mutation (§ IV-C) productrice de diversité génétique ; elle permet de comprendre les mécanismes de l'adaptation (§ II-E & III-A) ; l'évolution régressive et l'évolution convergente sont illustrées au § IV-E.</p>

<p>traits neutres.</p> <p>Chez les Eucaryotes, les isolements génétiques liés à la reproduction sexuée permettent de définir des espèces biologiques. Néanmoins, les transferts horizontaux et les hybridations sont des limites à ces isolements. Les espèces ne sont pas pérennes.</p> <p>D'autres définitions de l'espèce sont utilisées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - expliquer l'action de la dérive sur les traits neutres et sélectionnés ; - savoir définir l'effectif efficace ; <p><i>Aucun calcul n'est requis.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter deux exemples de dérive, à deux échelles d'étude : <ul style="list-style-type: none"> - dérive génétique au sein d'une population : cas de l'effet fondateur sur les fréquences alléliques ; - perte de diversité des Dinosaures lors de la crise KT remplacés par des Mammifères dans des niches écologiques comparables (constat à réaliser sur la niche des grands herbivores) - dérive phylogénétique. <p>Liens : Mutations silencieuses au § IV-C ; l'effet de la taille populationnelle sur la dérive et la notion d'effectif efficace seront envisagés en lien avec le § III-A.</p> <ul style="list-style-type: none"> - manipuler deux exemples de spéciation (un exemple sympatrique, Cf. les <i>Spartina</i> européennes et un exemple allopatrique) ; - discuter, pour les Eucaryotes, la notion d'hybridation dans le contexte de l'espèce biologique ; - discuter la notion d'espèce chez les procaryotes en lien avec les transferts génétiques horizontaux ; - présenter la notion d'évolution réticulée (à l'aide des deux points précédents : hybridation et transferts horizontaux) ; - présenter les différents critères susceptibles de fonder d'autres définitions de l'espèce (phénotypique, écologique, phylogénétique) ; <p>Liens : Pour les procaryotes, voir transferts horizontaux (§ IV-C). Pour une approche populationnelle de l'espèce, voir § III-A.</p>
--	--

Travaux pratiques : seconde année

<p>Les mécanismes de l'évolution</p>	<ul style="list-style-type: none"> - étude d'une approche expérimentale des mécanismes évolutifs, notamment à l'appui direct du cours - étude de cas permettant l'identification et la discussion de facteurs de sélection, de la valeur sélective (<i>fitness</i>) - étude de cas de coévolution (débouchant sur le modèle de la Reine Rouge) montrant en particulier des mécanismes stabilisant la coopération interspécifique (en lien avec les exemples concrets vus au cours d'autres TP) - possibilité de modélisations numériques (dérive, sélection) en liaison avec le programme d'informatique.
---	---

IV-E Une approche phylogénétique de la biodiversité	
<p>Ce chapitre est l'occasion d'insister sur le principal résultat de l'évolution : la diversité des taxons. L'objectif est de comprendre la maîtrise des principes d'établissement des phylogénies et comment l'exploitation d'un arbre phylogénétique permet de discuter des scénarios évolutifs.</p>	
Connaissances clés à construire	Commentaire, capacités exigibles
<p>Diverses modalités de classement des êtres vivants se sont succédées reposant sur des méthodes et des approches différentes de la notion de ressemblance.</p> <p>On distingue classifications phénétique, biologique et phylogénétique selon la méthode de traitement des caractères utilisés.</p> <p>Dans la méthode phylogénétique, la construction d'un arbre permet de révéler <i>a posteriori</i> des apomorphies, notamment morpho-anatomiques.</p> <p>La vraisemblance des arbres possibles peut être testée par différentes méthodes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Connaître l'origine et expliquer l'intérêt de la nomenclature binominale des espèces ; - distinguer clé de détermination et classification ; - définir un caractère (morphologique, anatomique, biochimique, moléculaire) ; - définir homologie et homoplasie ; - présenter les méthodes des classifications phénétique (ressemblance globale), biologique (homologie) et phylogénétique (apomorphie) ; <i>L'horloge moléculaire n'est pas exigible.</i> - distinguer et discuter différents états d'un même caractère ; - justifier l'utilité d'un groupe externe ; - distinguer arbre raciné et non raciné ; - construire un cladogramme sur un exemple simple ; - discuter de l'évolution d'un caractère sur un arbre ; - présenter le principe de choix de l'arbre le plus parcimonieux ; - présenter le principe du maximum de vraisemblance ; <i>la méthode du calcul n'est pas au programme.</i> <p>Liens : Les caractères moléculaires et leur diversité seront abordés en lien avec le § IV-C.</p>
<p>L'arbre du vivant comporte trois principales branches et n'est pas raciné.</p> <p>L'arbre des Eucaryotes illustre la divergence évolutive, l'homoplasie (convergence et réversion) et la possibilité d'évolution régressive. Sa racine est encore sujette à discussion.</p> <p>Les lignées photosynthétiques démontrent le polyphylétisme de l'acquisition des plastes.</p> <p>La pluricellularité, exemple de coopération</p>	<ul style="list-style-type: none"> - distinguer Archées, Eubactéries et Eucaryotes sur la base de quelques apomorphies ; - discuter la notion de virus et leur lien à l'arbre du vivant <i>sans mémorisation d'exemples ni présentation de cycle</i> ; A partir de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes : <ul style="list-style-type: none"> - montrer la persistance d'apomorphies cellulaires au sein des Opisthocontes, de la Lignée verte et des Hétérocontes, malgré la diversification évolutive ; - discuter le biphylétisme des hétérotrophes filamenteux (notion de « champignon ») ; - argumenter les acquisitions primaires et secondaires chez les Eucaryotes photosynthétiques (<i>on se limite aux Hétérocontes et à la Lignée verte</i>) - notion « d'algue » ; - montrer que la pluricellularité est un état dérivé apparu

<p>intraspécifique, est apparue à plusieurs reprises.</p> <p>Plaste et pluricellularité ont parfois été perdus, ce qui suggère que l'évolution ne complexifie pas toujours.</p>	<p>plusieurs fois dans l'évolution des Eucaryotes, ce qui implique d'interpréter les liens entre cellules comme des convergences ;</p> <p>- montrer à l'aide d'exemples du programme la perte de la pluricellularité (levures) ou la régression et la perte de plastes (respectivement : <i>Plasmodium</i>, les paramécies ou les Oomycètes) ;</p> <p>Liens : Cette partie s'appuie sur les organismes vus par ailleurs dans le programme (animaux, végétaux, organismes du § II-E) et en travaux pratiques.</p>
---	---

I – La Terre, planète active

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
<p>I-A Structure de la planète Terre 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.</p> <p>I-B Dynamique des enveloppes terrestres 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.</p> <p>L'équilibre vertical de la lithosphère sur l'asthénosphère est archimédien : l'isostasie. Il s'agit d'un équilibre dynamique qui peut être</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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></p> <p><i>La construction de modèle cinématique n'est pas au programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser des calculs simples d'équilibre vertical archimédien dans des contextes géologiques : chaîne de montagne, rift continental ;

<p>source de mouvements verticaux. La modélisation des états équilibrés permet de proposer des interprétations des reliefs et altitudes, que les données gravimétriques valident ou questionnent.</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; - 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 ; <p><i>Les notions de champ et de potentiel ne sont pas exigibles.</i></p> <p>Liens : Travaux pratiques : « Structure dynamique du globe terrestre » Métamorphisme (§ VII-B, en rapport avec les mouvements verticaux)</p>
--	--

II – Risques et ressources : les géosciences et l'Homme

<p>II-A Les risques liés à la géodynamique terrestre</p> <p>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).</p> <p>II-B Les ressources géologiques</p> <p>L'homme puise dans les enveloppes terrestres</p>	<p><i>On se limite à des exemples de risques d'origine naturelle.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>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.</i></p> <p><i>Aucune exhaustivité n'est exigible. Aucun exemple</i></p>
--	--

<p>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.</p>	<p><i>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></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>Liens : Travaux pratiques : informations sur les forages, les mines, les carrières... à partir de cartes géologiques (1^{ère} et 2^{ème} année)</p>
--	---

III – La géologie, une science historique

<p>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.</p> <p>La biostratigraphie se fonde sur le contenu fossilifère des roches pour caractériser des intervalles de temps et les classer de façon relative.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>La datation absolue, fondée essentiellement sur la radiochronologie, donne accès à la valeur de l'âge et étalonne l'échelle stratigraphique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p>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></p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer le principe de la datation radiochronologique à partir de deux méthodes K/Ar et Rb/Sr ; - justifier l'utilisation de différentes méthodes de
---	--

	<p>radiochronologie en s'appuyant sur la comparaison des méthodes K/Ar et Rb/Sr et de leurs domaines d'application ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer l'intérêt de la construction d'une isochrone (système riche et roche totale) ; <p>Liens : Magmatisme (§ V) Travaux pratiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « La géologie, une science historique » - « Exploitation des cartes géologiques » - « Le magmatisme » - « Le phénomène sédimentaire »
--	---

IV – La carte géologique

<p>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.</p> <p>Les modèles numériques de terrain (MNT) 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.</p> <p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p><i>L'exploitation d'une notice complète (souvent très dense et dont la lecture est longue) n'est pas exigible.</i></p> <p><i>L'exploitation de cartes géophysiques ne donnera pas lieu à des développements sur les aspects fondamentaux de la gravimétrie et du magnétisme.</i></p> <p>Liens : § III et programme de 2^{ème} année</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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></p> <p>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</p>
--	---

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

V-A Les modes d'expression des magmas

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, 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

- 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 ;

On se limite aux roches suivantes : basalte, gabbro, andésite, granodiorite, granite, rhyolite, trachyte.

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 ;

- 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.) ;

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

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 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-alcaline et alcaline.

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.

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 ;

La connaissance de la diversité des sources mantelliques n'est pas exigible, pas plus que la diversité des sources magmatiques en zones de subduction.

- 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 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

<p>La série tholéïitique caractérise le magmatisme des dorsales ainsi que celui de grands épanchements en domaines intraplaques océaniques ou continentaux. La série calco-alcaline caractérise les zones de subduction et demeure souvent à l'origine d'éruptions dangereuses. La série alcaline s'observe principalement en domaine intraplaque.</p>	<p>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 ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - associer certains dynamismes étudiés au § V-A et la (les) série(s) observée(s) ; <p>Globalement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><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.</i></p> <p><i>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></p> <p>Liens :</p> <p>Travaux pratiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « magmatisme » - « exploitation des cartes géologiques » <p>Gestion du risque volcanique (§ III) Métamorphisme (§ VIII)</p>
--	---

VI – Le phénomène sédimentaire

VI-A Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface

Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion avec en particulier l'entraînement de produits par les eaux.

La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de 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 entraînement 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.

- 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 ;
- proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage ;

Le raisonnement est privilégié, construit sur un ou des exemples au choix, par exemple pris localement. Aucune connaissance exhaustive n'est attendue.

- 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 ;

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.

L'étude des phyllosilicates se limite à distinguer le rapport Si/Al des différents types d'argile.

<p>VI-B La sédimentation des particules et des solutés</p> <p>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. Des courants gravitaires engendrent des turbidites.</p> <p>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.</p> <p>La silice dissoute dans l'eau de mer peut être utilisée par des micro-organismes planctoniques (Radiolaires, Diatomées), ce qui alimente la sédimentation de boues siliceuses, non limitée par la profondeur et inégalement distribuée.</p> <p>La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse, halite, sylvite) par concentration des solutions.</p>	<p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 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 ; <p><i>On se limite à la sédimentation détritique marine (environnements deltaïques, éventails sous-marins et milieux pélagiques).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 ; <p><i>En ce qui concerne les environnements carbonatés, on se limite à l'étude d'une plateforme et d'un milieu récifal.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels ; <p>Liens :</p>
--	---

<p>VI-C Bassins sédimentaires et formation des roches 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.</p> <p>L'ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques d'une roche sédimentaire constitue son faciès.</p>	<p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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) ; <p>Liens : L'étude de la diagenèse utilise des observations réalisées en Travaux Pratiques, en liaison notamment avec la classification des calcaires.</p> <p>En particulier, l'ensemble des connaissances et des méthodes acquises doit permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer différents types de roches sédimentaires en utilisant les classifications <i>ad hoc</i>, en particulier 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 ; <p><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></p> <p>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.</p>
--	---

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 et de coulissage.

Les seuls paramètres enregistrés dans les diagraphies et mentionnés seront le gamma-ray et l'outil "Sonic".

- 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 ;
- On se limite à la variable temporelle eustatisme ; le passage de la coupe-profondeur à la coupe-temps n'est pas exigible.*

- 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 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 de première année :

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	<ul style="list-style-type: none">- 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 Cette séance de TRAVAUX PRATIQUES pourra être envisagée en relation avec les séances de TRAVAUX PRATIQUES prévues en IV (la carte géologique).	<ul style="list-style-type: none">- 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	<ul style="list-style-type: none">- 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	<ul style="list-style-type: none">- 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 citées en V-A 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.
Phénomène sédimentaire	<ul style="list-style-type: none">- 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

	<p>classification), grès, argilites, marnes, bauxite, conglomérats, halite, gypse, houille ;</p> <ul style="list-style-type: none"> -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 ; <p>établissement des corrélations entre les forages ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyse d'une coupe-profondeur et d'une coupe-temps associées à un cycle eustatique.
<p>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.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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 – Les déformations de la lithosphère et les transformations minérales associées

Sur la base d'observations d'objets réalisées en particulier sur le terrain, les études en laboratoire (mesures, expériences, modèles analogiques ou numériques...) permettent de comprendre des mécanismes et de relier les déformations repérées à différentes échelles avec leurs conditions de formation (lien à la tectonique, à la pétrographie, aux conditions dans lesquelles la déformation s'effectue). Réciproquement, la connaissance de ces éléments éclaire les données du terrain et participe à la construction des interprétations géologiques.

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles
VII-A Déformations des matériaux de la lithosphère	
<p>VII-A-1 Rhéologie de la lithosphère Les matériaux lithosphériques se déforment sous l'effet de la contrainte : la déformation est élastique, plastique ou cassante. Les mécanismes de la déformation plane sont le cisaillement pur et le cisaillement simple.</p> <p>Les propriétés mécaniques des roches sont dépendantes de leur compétence, des conditions thermodynamiques et de la vitesse de déformation. Ces propriétés mécaniques sont liées à la notion</p>	<ul style="list-style-type: none"> - définir déformation et contrainte ; - définir la déformation élastique, la déformation plastique, le fluage et la notion de rupture ; - reconnaître les deux mécanismes de la déformation plane à partir des structures ou microstructures d'identification ; <p><i>Les mécanismes intimes de la déformation à l'échelle cristalline tout comme les cercles et enveloppes de Mohr ne sont pas au programme.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - distinguer un comportement ductile et un comportement cassant ; - relier ces différents types de comportement à la compétence des roches, aux conditions

<p>thermo-mécanique de lithosphère définie aux § I-A & I-B.</p> <p>Le comportement global de la lithosphère est déterminé par son enveloppe rhéologique. L'hétérogénéité verticale de comportement mécanique de la lithosphère continentale peut déterminer des niveaux de découplage.</p> <p>VII-A-2 Sismogenèse L'étude des séismes et la prédiction du risque sismique passent par la description des événements et par de nombreuses mesures.</p> <p>La relaxation rapide d'énergie accumulée par les déformations élasto-plastiques est responsable de la formation des séismes. Pour un séisme donné, le mécanisme au foyer permet l'analyse de la géométrie de la faille et de son mouvement. L'étude d'un ensemble de mécanismes aux foyers dans une région donnée permet de caractériser le contexte tectonique. La distribution mondiale des séismes et l'étude des mécanismes au foyer renseignent sur la géodynamique globale.</p> <p>Les mesures de géodésie spatiale telles que le GPS et l'interférométrie radar permettent d'évaluer les déplacements instantanés, de les comparer à ceux déterminés à l'échelle des temps géologiques et de préciser la connaissance de l'aléa.</p> <p>VII-A-3 Les objets de la déformation - La lithosphère est une mosaïque d'objets tectoniques d'échelles et de natures différentes : bombement et flexuration lithosphériques, plis, failles, microstructures associées.</p>	<p>thermodynamiques ainsi qu'à la vitesse de déformation ; - illustrer l'importance de la vitesse de déformation ;</p> <p>Lien : § VII-B</p> <p>- établir un profil rhéologique de la lithosphère continentale à l'aide de la loi de Byerlee et des lois de fluage ; - discuter l'allure de ce profil en fonction du gradient géothermique local ;</p> <p>Liens : § VII-B, § II</p> <p>L'étude de quelques exemples récents, laissés au choix, permet de montrer la diversité des observations effectuées lors d'un séisme.</p> <p>- exploiter des données de mécanismes au foyer ; par contre, la construction stéréographique d'un mécanisme au foyer n'est pas au programme ; - relier ces données aux contextes géodynamiques ; - exploiter et relier des données de géodésie spatiale (GPS et interférométrie radar) permettant la surveillance des failles actives et la quantification de l'aléa par mesure de l'accumulation de déformation autour de ces failles ; - relier les notions de magnitude et de temps de récurrence à la prédiction du risque sismique ;</p> <p>Lien : § II</p> <p>- utiliser des mesures géodésiques pour analyser les déplacements ; - comparer en ordre de grandeur les déplacements (temps, distance) ;</p> <p><i>Les méthodes de géodésie spatiale ne sont pas au programme.</i></p> <p>- décrire et identifier des objets tectoniques sur des documents cartographiques et photographiques ; - décrire et identifier des microstructures sur des échantillons et sur des photographies ; - réaliser des schémas structuraux et des</p>
--	---

	<p>coupes géologiques à main levée, le profil topographique étant fourni ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - établir, dans le cas des déformations coaxiales, le lien entre la déformation finie observée et l'orientation de la contrainte ; - relier l'analyse des microstructures à celle des transformations minéralogiques ; <p>Liens : Travaux pratiques, § VII-B</p>
<p>VII-B Les transformations minérales du métamorphisme</p>	
<p>VII-B-1 Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température (2h) Une roche de composition donnée exposée à un changement de température et/ou de pression est le siège de transformations minéralogiques. Ces transformations sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique.</p> <p>Les faciès métamorphiques sont des domaines de l'espace pression-température. L'association de minéraux stables dans un faciès constitue une paragenèse à l'équilibre. Ces assemblages dépendent de la nature de la roche originelle (protolithe). Des géobaromètres et des géothermomètres sont constitués par des réactions univariantes du métamorphisme, des minéraux index et par la distribution de certains éléments chimiques dans les phases minérales.</p> <p>- Dans certaines conditions, le métamorphisme peut conduire à l'anatexie crustale.</p> <p>VII-B-2 Distribution spatiale des roches métamorphiques et variations temporelles des associations minéralogiques (3h) La distribution spatiale des roches métamorphiques à l'échelle régionale permet d'identifier des séries métamorphiques, indicatrices d'un gradient géothermique local. Les mêmes méthodes peuvent être transposées à plus petite échelle dans le cadre du métamorphisme de contact.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme ; - exploiter les données de documents photographiques ; - identifier à l'œil nu des roches métamorphiques : schiste, micaschiste, gneiss, éclogite, migmatite, marbre ; <i>d'autres roches peuvent être présentées (cornéennes, amphibolites...), mais leur reconnaissance macroscopique n'est pas exigible ;</i> - exploiter et relier des données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations ; - situer approximativement les limites des principaux faciès métamorphiques : schistes verts, amphibolites, granulites, schistes bleus, éclogites ; - discuter de la pertinence du choix d'un géobaromètre ou d'un géothermomètre ; - exploiter des données de thermométrie et barométrie chimiques ; - utiliser une grille pétrogénétique fournie ; - utiliser un solidus quartz-albite-orthose pour discuter d'une possible fusion crustale ; <p>Lien : § V-B-1</p> <ul style="list-style-type: none"> - exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes dans une série métamorphique ; - déterminer un gradient d'enfouissement ; - relier les principaux gradients à des contextes géodynamiques ; - exploiter des données illustrant le cas particulier du métamorphisme de contact ;

<p>L'étude des différentes paragenèses présentes dans une roche métamorphique et leur datation peut permettre de reconstituer un chemin $P, T = f(t)$. Ce chemin fait apparaître des étapes progrades et des étapes rétrogrades, caractéristiques des conditions d'enfouissement et des conditions d'exhumation. Un chemin $P, T = f(t)$ constitue une jauge de profondeur dans l'histoire tectonique d'une unité crustale.</p> <p>La nature des séries métamorphiques et les reconstitutions de chemins $P, T = f(t)$ sont étroitement liées à l'histoire géodynamique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en terme de chemin $P, T = f(t)$; - exploiter des assemblages typomorphes et des chemins $P, T = f(t)$ dans le cadre d'une histoire régionale et dans celui de la géodynamique globale ; - utiliser l'évolution dans le temps des associations minéralogiques pour éclairer l'exemple d'une chaîne de montagne en termes géodynamiques ; <p>Liens : Travaux pratiques, § VIII-B</p>
---	--

VIII – Etude de grands ensembles géologiques

Cette partie permet d'intégrer des données géophysiques, pétrologiques, géochimiques et sédimentologiques, acquises en 1^{ère} année et en 2^{ème} année, à la compréhension de quelques grands ensembles géologiques.

<p>VIII-A L'océan L'origine magmatique de la lithosphère océanique étant déjà connue, il s'agit seulement ici de montrer sa structure et son évolution minéralogique au contact de l'eau de mer lors de l'expansion océanique ainsi que son devenir thermomécanique. <i>La formation de la lithosphère océanique, déjà abordée avec le magmatisme, ne fera pas l'objet de développement supplémentaire.</i></p>	
<p>VIII-A-1 Structure et devenir de la lithosphère océanique La lithosphère océanique présente une structuration verticale pouvant être reconstituée entre autres à partir de l'analyse d'un complexe ophiolitique. Formée à l'axe des dorsales, elle interagit avec l'eau de mer ce qui entraîne l'apparition de phases hydroxylées.</p> <p>La subduction de la lithosphère océanique est liée à son évolution thermomécanique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - relier le fonctionnement d'une dorsale (1^{ère} année), à la structure de la lithosphère océanique qu'elle génère ainsi qu'à l'organisation d'un complexe ophiolitique ; - illustrer les échanges chimiques avec l'eau de mer ; <i>L'hydrothermalisme océanique n'est pas au programme dans sa globalité ; seuls sont exigibles des exemples permettant d'illustrer le tri géochimique : hydratation des minéraux de la croûte, échanges de Na et Mg. Les processus d'origine des fumeurs noirs et des sulfures métalliques associés ne sont pas au programme.</i> <p>Lien : Magmatisme (§ V)</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer le caractère gravitaire de la subduction ; - identifier des signatures de la subduction ; - relier diverses données permettant de discuter de la diversité des subductions ; <i>par contre la connaissance exhaustive de cette diversité n'est pas au programme ;</i>

<p>VIII-A-2 Les marges de l'océan Une marge active montre des signatures géomorphologiques, géophysiques et pétrologiques.</p> <p>Pour une marge passive, la subsidence thermique crée de l'espace disponible pour la sédimentation</p> <p>VIII-A-3 Le couplage océan atmosphère L'océan est animé de courants de surface étroitement couplés aux courants troposphériques. Ce couplage thermomécanique est un déterminant majeur de climats.</p>	<p>- exploiter ces connaissances dans l'identification de paléo-subductions ;</p> <p>Liens : § VIII-B, § VIII-C</p> <p>- identifier les indices d'une marge continentale active ;</p> <p>- relier la géométrie d'une marge passive à son histoire ;</p> <p>Lien : § VI-C</p> <p>- illustrer le couplage océan-troposphère par un exemple (El niño ou la mousson indienne) ;</p> <p><i>Aucune connaissance supplémentaire sur les climats n'est exigible.</i></p> <p>Lien : § I-B</p>
---	--

<p>VIII-B Une chaîne de montagnes L'étude sera effectuée sur les Alpes franco-italo-suissees en se limitant à la partie visible sur la carte de France au millionième (dernière édition en cours). Elle s'appuiera sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la carte au millionième ; - les cartes au 1/250 000 d'Annecy et de Gap ; - diverses cartes au 1/50 000 laissées au choix ; - la carte du métamorphisme alpin CCGM ; - la carte tectonique des Alpes et du métamorphisme alpin ; - la carte des anomalies de Bouguer (ou carte des anomalies gravimétriques) ; - le profil ECORS-CROP. <p>D'autres documents peuvent être utilisés, mais leur connaissance n'est pas exigible.</p>	
<p>Une chaîne de montagnes est un édifice structuré dont l'étude et la compréhension nécessitent des observations de terrain et les apports de la géophysique. Elle montre des vestiges de son histoire paléogéographique ainsi que des indices d'épaississement et de raccourcissement. L'intégration des différentes informations permet de reconstituer les grandes étapes de l'histoire géodynamique de la chaîne.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier et exploiter des vestiges de domaines océaniques ; - identifier et exploiter des témoins de marge passive ; - identifier et exploiter des indices de raccourcissement et de décrochement ; - identifier et exploiter des indices d'épaississement ; - utiliser des témoins métamorphiques pour argumenter un diachronisme des subductions et construire, à l'aide des autres données, l'interprétation de cette chaîne en géométrie prismatique ; - identifier et exploiter des témoins de collision ; - identifier et exploiter des indices de la déformation actuelle ; - intégrer des informations pour reconstituer des

	<p>éléments d'histoire d'une chaîne de montagnes ;</p> <p><i>La connaissance chronostratigraphique des différents événements n'est pas au programme.</i></p> <p>Lien : Travaux pratiques</p>
--	---

<p>VIII-C Etude de quelques grands ensembles structuraux français</p>	
<p>VIII-C-1 Quelques grands ensembles structuraux de France métropolitaine</p> <p><i>Pour la France métropolitaine, l'étude des exemples retenus dans le programme sera majoritairement effectuée sur la carte de France au millionième (dernière édition en cours) qui demeure le seul document dont la connaissance est exigible.</i></p> <p>Outre les Alpes (§ VIII-B), la France métropolitaine montre quelques grands ensembles structuraux : autres chaînes de montagnes récentes, bassins sédimentaires, massifs anciens.</p>	
<p>Par-delà leur unité, les bassins sédimentaires présentent des variations dans leur morphologie, leur structure profonde, leur origine et leur subsidence.</p> <p>D'autres chaînes de montagnes récentes que les Alpes peuvent être repérées sur le territoire métropolitain.</p> <p>Un massif ancien est un vestige à l'affleurement d'une histoire tectono-métamorphique plus ancienne. Les objets géologiques visibles à l'affleurement, bien que différents de ceux observés dans les chaînes récentes, permettent aussi d'accéder à l'histoire de cette chaîne.</p>	<p><i>En s'appuyant sur l'exemple analysé en TP, on élargit à d'autres bassins pour montrer l'unité et la diversité des phénomènes (on se limite aux bassins parisien et aquitain et au fossé rhénan).</i></p> <p><i>La structure des chaînes autres que les Alpes n'est pas étudiée ; on se limite à les identifier sur la carte au millionième en les reliant aux cycles orogéniques concernés.</i></p> <p><i>Ni la structure, ni l'histoire des massifs anciens ne sont à mémoriser. On se limite à les identifier sur la carte au millionième en les reliant aux cycles orogéniques concernés.</i></p>
<p>VIII-C-2 Les îles océaniques françaises</p>	
<p>Les îles océaniques sont des édifices géologiques issus d'un processus magmatique, dans un contexte géodynamique donné, ancien mais encore souvent actif.</p>	<p><i>Les seules connaissances exigibles sont celles établies dans les parties précédentes, y compris celles traitées en première année.</i></p> <p>- analyser un contexte géologique en croisant différentes références connues ou fournies ;</p> <p><i>On se limite aux trois îles suivantes : Guadeloupe, Martinique, Réunion.</i></p>

Travaux pratiques (6 séances) :

Un ensemble de six séances de travaux pratiques est proposé en seconde année. **L'écriture adoptée pour définir les exigibles du programme ne constitue pas une indication de séances à réaliser de façon linéaire.** En relation avec ces approches multiples réalisées sur des objets complexes dans le cadre des travaux pratiques, le cours permet de structurer des synthèses et de poser les bases générales correspondant aux phénomènes étudiés ou aux grands ensembles décrits.

En effet, les contenus comme les savoir-faire définis sont interpénétrés ce qui amène à revenir à plusieurs reprises sur les différents éléments d'analyse. Par exemple, l'étude des déformations, pour

laquelle aucune séance spécifique n'est définie, concerne les chaînes de montagnes récentes ou anciennes, étudiées en salle comme sur le terrain et peut être reliée aux transformations minérales du métamorphisme. Ces transformations sont inévitablement abordées à plusieurs reprises, dans les différents contextes. La réalisation de schémas structuraux, de coupes, l'interprétation des paysages impliquent un regard global et décloisonné et peuvent intervenir à différents moments. Globalement, un équivalent de 3 séances environ concerne les Alpes, 3 séances les autres ensembles structuraux.

<p>Déformation des matériaux de la lithosphère</p>	<ul style="list-style-type: none"> - observation d'objets tectoniques sur différents supports (cartes géologiques, photographies, échantillons,...) et à différentes échelles - interprétation d'objets tectoniques, en termes d'ellipsoïde des déformations finies et, lorsque c'est possible, lien avec l'ellipsoïde des contraintes - utilisation des microstructures associées aux structures d'échelle supérieure - réalisation de schémas structuraux - réalisation de coupes géologiques à main levée sur des profils topographiques fournis - établissement d'un lien entre paysage et déformation - réalisation d'exercices permettant d'associer des données diverses (morphologiques, géophysiques, géologiques...) aux caractéristiques d'un contexte géodynamique - exploitation de données GPS et d'interférométrie radar permettant la surveillance des failles actives
<p>Les transformations minérales du métamorphisme L'étude pratique des transformations minérales peut envisagée en association avec les travaux portant sur les déformations, mais aussi en liaison avec l'étude de l'édifice alpin et des massifs anciens.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - analyse et exploitation d'une carte géologique laissée au choix permettant l'étude d'une série métamorphique - analyse et exploitation de données montrant l'association métamorphisme – anatexis crustale - identification à l'œil nu des roches métamorphiques citées dans le § VII-B - exploitation de photographies de lames minces, les minéraux étant annotés - exploitation de données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations - utilisation d'une grille pétrogénétique fournie - exploitation de données fournies de thermométrie et de barométrie chimiques - exploitation de données concernant une série métamorphique pour reconstituer un gradient géothermique d'enfouissement - exploitation de données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en terme de chemin $P, T = f(t)$; exploitation de ces résultats dans le cadre d'une histoire régionale et dans celui de la géodynamique globale - utilisation de l'évolution dans le temps des associations minéralogiques pour éclairer une histoire métamorphique

<p>Les grands ensembles structuraux français Structuration de l'édifice alpin</p> <p>Un exemple de massif ancien</p> <p>Un exemple de bassin sédimentaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - exploitation du profil Ecors Bresse – Jura – Alpes - exploitation de la carte au 1 000 000 de la France - exploitation des cartes au 1/250 000 d'Annecy et de Gap - réalisation de schémas structuraux et de coupes sur des cartes au 1/50 000 laissées au choix - exploitation de la carte du métamorphisme alpin CCGM (2004 ou 2012) - exploitation de la carte tectonique des Alpes 2012 - exploitation de la carte des anomalies de Bouguer (ou carte des anomalies gravimétriques) <ul style="list-style-type: none"> - réalisation de schémas structuraux à partir la carte de France au millionième - réalisation de schémas structuraux partiels sur des cartes à différentes échelles - réalisation de coupes géologiques à main levée, le profil topographique étant fourni - analyse et exploitation de données pétrologiques, tectono-métamorphiques..., permettant d'analyser une situation géologique <p>On choisit un des trois bassins suivants : bassin parisien, bassin aquitain, fossé rhénan.</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les caractéristiques d'un bassin sédimentaire sur la carte au millionième - exploiter des données issues de documents complémentaires (cartes, données géophysiques et sédimentologiques...) permettant de comprendre l'origine et l'histoire géodynamique (subsidence) d'un bassin sédimentaire <p><i>La connaissance de la chronologie des événements qui ont jalonné le remplissage sédimentaire n'est pas au programme.</i></p>
<p>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 de mieux comprendre la géométrie et l'histoire des ensembles géologiques ; la situation géographique est laissée au choix (chaîne alpine, massif ancien, île océanique). Ce travail permet aussi d'ouvrir sur la biologie (via l'analyse et la représentation du paysage en particulier) et sur les problématiques étudiées en géographie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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...) - passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives

ANNEXE 2

Programme de physique-chimie de BCPST 2^{ème} année

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de BCPST s'inscrit dans la continuité du programme de première année. Ce programme est conçu pour amener tous les étudiants à poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, pour éveiller leur curiosité et leur permettre de se former tout au long de la vie.

L'objectif de l'enseignement de physique-chimie est d'abord de développer des compétences propres à la pratique de la démarche scientifique :

- observer et s'approprier une problématique ;
- analyser et modéliser ;
- valider ;
- réaliser et créer.

Cette formation doit aussi développer d'autres compétences dans un cadre scientifique :

- communiquer, à l'écrit et à l'oral ;
- être autonome et faire preuve d'initiative.

Ces compétences sont construites à partir d'un socle de connaissances et de capacités défini par ce programme. Comme celui de première année, il identifie, pour chacun des items, les connaissances scientifiques, mais aussi les savoir-faire, les capacités que les étudiants doivent maîtriser à l'issue de la formation. L'acquisition de ces capacités constitue un objectif prioritaire pour le professeur.

Observer, mesurer, confronter un modèle au réel nécessitent la pratique d'une démarche expérimentale. La formation expérimentale de l'étudiant revêt donc une importance essentielle, au même titre que sa formation théorique. En outre elle donne un sens aux concepts et aux lois introduites. En classe de BCPST2, cette formation expérimentale est poursuivie ; elle s'appuie sur les capacités développées en première année, elle les affermit et les complète.

Comprendre, décrire, modéliser, prévoir, nécessitent aussi une solide formation théorique. Celle-là est largement complétée en classe de BCPST2. Le professeur s'appuiera sur des exemples concrets afin de lui donner du sens. La diversité des domaines scientifiques abordés ne doit pas masquer à l'étudiant la transversalité des concepts et des méthodes utilisés, que le professeur veillera à souligner. Théorique et expérimentale, la formation de l'étudiant est multiforme et doit être abordée par des voies variées. Ainsi le professeur doit-il rechercher un point d'équilibre entre des approches apparemment distinctes, mais souvent complémentaires : conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative.

L'autonomie de l'étudiant et sa capacité à prendre des initiatives sont développées à travers la pratique d'activités de type « résolution de problèmes », qui visent à apprendre à mobiliser des savoirs et des savoir-faire pour répondre à des questionnements précis. Ces résolutions de problèmes peuvent aussi être de nature expérimentale ; la formation expérimentale vise non seulement à apprendre à l'étudiant à réaliser des mesures ou des expériences selon un protocole fixé, mais aussi à l'amener à proposer lui-même un protocole et à le mettre en œuvre. Cette capacité à proposer un protocole doit être résolument développée au cours de la formation expérimentale.

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de

ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

La mise en œuvre de la démarche scientifique en physique-chimie fait souvent appel aux mathématiques, tant pour la formulation du modèle que pour en extraire des prédictions. Le professeur veillera à n'avoir recours à la technicité mathématique que lorsqu'elle s'avère indispensable, et à mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes physiques. Néanmoins l'étudiant doit savoir utiliser de façon autonome certains outils mathématiques (précisés dans l'appendice « outils mathématiques ») dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie.

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de BCPST inclut celui de première année, et son organisation est la même :

- Dans la première partie sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer pendant les deux années de formation à travers certaines de ses composantes : la démarche expérimentale, la résolution de problèmes et les approches documentaires. Ces compétences et les capacités associées continueront à être exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la deuxième année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.
- Dans la deuxième partie, intitulée « **formation expérimentale** », sont décrites les méthodes et les capacités expérimentales que les élèves doivent maîtriser à la fin de l'année scolaire. Elles complètent celles décrites dans la deuxième partie du programme de BCPST1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de BCPST2. Leur mise en œuvre à travers les activités expérimentales doit s'appuyer sur des problématiques concrètes contenant celles identifiées en gras dans la partie « formation disciplinaire ».
- La troisième partie, intitulée « **formation disciplinaire** », décrit les connaissances et capacités associées aux contenus disciplinaires propres à la classe de BCPST2. Comme dans le programme de première année, elles sont présentées en deux colonnes : la première colonne décrit les « notions et contenus » ; en regard, la seconde colonne précise les « capacités exigibles » associées dont l'acquisition par les étudiants doit être la priorité du professeur. L'évaluation vise à mesurer le degré de maîtrise du socle ainsi défini et le niveau d'autonomie et d'initiative des étudiants. Lors de la conception des évaluations, on veillera soigneusement à identifier les capacités mobilisées afin d'en élargir le plus possible le spectre.
Certains items de cette partie, **identifiés en caractères gras**, se prêtent particulièrement à une approche expérimentale. Ils doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées. D'autres items sont signalés comme devant être abordés au moyen d'une approche numérique ou d'une approche documentaire.
- Deux appendices listent le matériel et les outils mathématiques que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de deuxième année de BCPST. Il complète le matériel rencontré en première année et dont la maîtrise reste nécessaire.

Ce programme indique les objectifs de formation à atteindre en fin d'année pour tous les étudiants. Il ne représente en aucun cas une progression imposée pour chaque semestre. La formation de seconde année est divisée en deux semestres. Toutefois le professeur est ici libre de traiter le programme dans l'ordre qui lui semble le plus adapté à ses étudiants. Dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur, pédagogue et didacticien, organise son enseignement en respectant trois grands principes directeurs :

- Il doit privilégier la mise en activité des étudiants en évitant le dogmatisme : l'acquisition des connaissances, des capacités et des compétences sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des étudiants. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.
- Il doit savoir recourir à la mise en contexte des contenus scientifiques : le questionnement scientifique peut être introduit à partir de phénomènes naturels, de procédés ou d'objets technologiques. Lorsque le thème traité s'y prête, le professeur peut le mettre en perspective avec l'histoire des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées.
- Il contribue à la nécessaire mise en cohérence des enseignements scientifiques ; la progression en physique-chimie doit être articulée avec celles mises en œuvre dans les autres disciplines, mathématiques, informatique et sciences de la vie et de la Terre.

Partie 1 - Démarche scientifique

1. Démarche expérimentale

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

C'est la raison pour laquelle ce programme fait une très large place à la méthodologie expérimentale, selon deux axes forts et complémentaires :

- Le premier a trait à la formation expérimentale à laquelle l'intégralité de la deuxième partie est consacrée. Compte tenu de l'important volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (réalisation, évaluation de la précision, analyse du résultat...) et des techniques associées. Cette composante importante de la formation d'ingénieur ou de chercheur a vocation à être évaluée de manière appropriée dans l'esprit décrit dans cette partie.

- Le second concerne l'identification, tout au long du programme dans la troisième partie (contenus disciplinaires), de problématiques se prêtant particulièrement à une approche expérimentale. Ces items, **identifiés en gras**, doivent être abordés, au choix, à travers des expériences de cours exploitées de manière approfondie et collective, ou lors de séances de travaux pratiques où l'autonomie et l'initiative individuelle de l'étudiant sont davantage privilégiées.

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

- Les expériences de cours doivent susciter un questionnement actif et collectif autour d'une expérience bien choisie permettant de faire évoluer la réflexion théorique et la modélisation, d'aboutir à des lois simplificatrices et unificatrices, de dégager des concepts transversaux entre différents domaines de la physique.

- Les séances de travaux pratiques doivent permettre, dans une approche contextualisée, suscitée par une problématique clairement identifiée et, chaque fois que cela est possible, transversale, l'acquisition de savoir-faire techniques, de connaissances dans le domaine de la

mesure et de l'évaluation de sa précision, d'autonomie dans la mise en œuvre de protocoles simples associés à la mesure des grandeurs physiques les plus souvent mesurées.

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

Compétences spécifiques mobilisées lors des activités expérimentales

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

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

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

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale. - Énoncer une problématique d'approche expérimentale. - Définir les objectifs correspondants.
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler et échanger des hypothèses. - Proposer une stratégie pour répondre à la problématique. - Proposer un modèle. - Choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental. - Évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole. - Utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie pour celui de la liste « matériel », avec aide pour tout autre matériel. - Mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates. - Effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Confirmer ou infirmer une hypothèse, une information. - Analyser les résultats de manière critique. - Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none"> o présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ;

	<ul style="list-style-type: none"> ○ utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; ○ s'appuyer sur des schémas, des graphes. <ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Être autonome, faire preuve d'initiative	<ul style="list-style-type: none"> - Travailler seul ou en équipe. - Solliciter une aide de manière pertinente. - S'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

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

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

2. Résolution de problèmes

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

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

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

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier le problème	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue.

Établir une stratégie de résolution (analyser)	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider)	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeur connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. ...
Communiquer	Présenter la solution ou la rédiger, en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

3. Approches documentaires

En seconde année, comme en première année, le programme de physique-chimie prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ».

L'objectif de ces activités reste le même puisqu'il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeur, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	- Dégager la problématique principale. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...).
Analyser	- Identifier les idées essentielles et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents.

	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence. - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau. - Trier et organiser des données, des informations. - Tracer un graphe à partir de données. - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure, ... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau, ... - Conduire une analyse dimensionnelle. - Utiliser un modèle décrit.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique. - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire. - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude, ...). - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance.
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger et présenter une synthèse, une analyse, une argumentation, ... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique). - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale. - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques.

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales nouvelles que les élèves doivent acquérir au cours de l'année de BCPST2 durant les séances de travaux pratiques. Elle vient prolonger la partie correspondante du programme de BCPST1 dont les capacités doivent être complètement acquises à l'issue des deux années de préparation, et restent donc au programme de la deuxième année.

Les capacités rassemblées ici ne constituent en aucun cas une liste de travaux pratiques qui s'articuleraient autour d'une découverte du matériel, mais doivent au contraire faire l'objet d'un apprentissage progressif contextualisé où chaque élément apparaît naturellement à l'occasion d'un problème concret.

1. Prévention des risques au laboratoire

Les élèves doivent prendre conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. L'apprentissage et le respect des règles de sécurité chimique, électrique et optique leur permette de prévenir et de minimiser ce risque. Futurs ingénieurs, chercheurs, enseignants, ils doivent être sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Prévention des risques - chimique	Adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire. Relever les indications sur le risque associé au

Règles de sécurité au laboratoire. Pictogrammes de sécurité pour les produits chimiques. Phrases H et P. - électrique, optique	prélèvement et au mélange des produits chimiques. Développer une attitude autonome dans la prévention des risques. Adopter une attitude responsable lors de l'utilisation de sources lumineuses et d'appareils électriques.
2. Impact environnemental Traitement et rejet des espèces chimiques.	Adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction des informations recueillies sur la toxicité ou les risques. Sélectionner, parmi plusieurs modes opératoires, celui qui minimise les impacts environnementaux.

2. Méthodes expérimentales

Nature et méthodes	Capacités exigibles
1. Solutions aqueuses Titration par complexation, précipitation, oxydoréduction. Piles électrochimiques	Choisir les électrodes adaptées. Repérer les cas où une protection de l'électrode de référence est nécessaire. Analyser les courbes de titration et identifier les réactions mises en jeu. Déterminer les quantités de matière et les constantes thermodynamiques. Mettre en œuvre une pile pour déterminer des constantes thermodynamiques d'équilibre ou des potentiels standard.
2. Thermodynamique Enthalpie de changement d'état.	Mettre en œuvre une méthode calorimétrique pour déterminer une enthalpie de changement d'état.
3. Dynamique des fluides Porosité et perméabilité. Viscosité.	Mettre en œuvre des dispositifs de mesure de ces grandeurs.
4. Signal Oscillations amorties. Régime sinusoïdal forcé.	Réaliser un montage permettant de visualiser l'évolution temporelle d'une grandeur électrique dans un régime <i>RLC</i> et observer les différents régimes. Mesurer le déphasage entre deux grandeurs. Visualiser, lorsqu'elle existe, la résonance d'un circuit en régime sinusoïdal forcé, et mesurer la largeur de la bande passante.

Filtres.	Mesurer le facteur d'amplification d'un filtre et le déphasage entre les signaux d'entrée et de sortie.
Spectroscope à réseau.	Régler le spectroscope à réseau. Sélectionner une longueur d'onde ; mesurer une longueur d'onde.
Effet Doppler.	Réaliser une mesure de décalage de fréquence.
Retard temporel.	Mettre en œuvre une mesure de retard temporel.
5. Chimie organique	
Extraction d'un constituant d'un mélange diphasé.	Réaliser l'extraction d'un constituant dans un mélange à l'aide d'un montage approprié.
Synthèse d'un organomagnésien.	Réaliser la synthèse en respectant les conditions opératoires.

Partie 3 - Contenus disciplinaires

Les thèmes traités en seconde année

Les objectifs de formation en seconde année sont identiques de ceux exposés dans le programme de première année. La seconde année est rythmée par six thèmes pour lesquels il est donné à titre indicatif une estimation du temps à consacrer en cours. Le contenu et le volume des séances de travaux dirigés spécifiques à chaque thème sont à l'initiative de l'enseignant en fonction de sa progression.

	Physique	Chimie
I. Thermodynamique	9 h	35 h
II. Phénomènes de transport	13 h	
III. Signal et rayonnement	14 h	
IV. Mécanique	8 h	
V. Mécanique des fluides	13 h	
VI. Chimie organique		16 h

I. Thermodynamique

L'enseignement de thermodynamique de deuxième année reprend et développe les notions de thermodynamique physique et chimique étudiées en première année. L'enthalpie libre G , considérée comme une fonction de la température, de la pression et des quantités de matière, est introduite pour l'étude des transformations physiques et chimiques à pression et température constantes. L'étude des diagrammes binaires porte sur des diagrammes isobares ; ceux-ci seront fournis ou construits à partir de données expérimentales.

Pour l'étude des équilibres chimiques et des déplacements d'équilibre, plusieurs outils sont introduits : affinité chimique, quotient réactionnel, enthalpie libre de réaction, l'étudiant devant rester libre de travailler avec l'outil qu'il maîtrise le mieux.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Travail des forces pressantes</p> <p>Forces pressantes.</p> <p>Travail des forces pressantes.</p>	<p>Établir un bilan de forces exercées sur la paroi d'un piston mobile.</p> <p>Interpréter la condition d'équilibre mécanique.</p> <p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné (monobare, isobare, isotherme d'un gaz parfait).</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
<p>2. Description des systèmes fermés de composition constante</p> <p>Energie interne d'un fluide compressible. Détente de Joule - Gay-Lussac.</p> <p>Première loi de Joule. Enthalpie. Deuxième loi de Joule. Capacités thermiques dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable. Relation de Mayer.</p> <p>Identités thermodynamiques sur les fonctions U et H.</p>	<p>Relier qualitativement la variation de température lors d'une détente de Joule - Gay-Lussac aux propriétés d'un gaz.</p> <p>Exprimer la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie sous une forme différentielle ou finie.</p> <p>Utiliser les grandeurs molaires et massiques. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne et de l'enthalpie. Déterminer un transfert thermique à partir de la variation de la fonction d'état la plus adaptée.</p> <p>Établir l'expression d'une variation d'entropie dans le système de coordonnées le plus adapté. Démontrer et utiliser la loi de Laplace.</p>
<p>3. Description des systèmes fermés de composition variable</p> <p>Enthalpie libre ; potentiel chimique. Identité thermodynamique sur la fonction G.</p> <p>Relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Potentiel thermodynamique.</p>	<p>Relier les grandeurs V, S et μ aux dérivées partielles de $G(T,P,n)$.</p> <p>Démontrer la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Interpréter l'influence d'une variation de pression ou de température sur le potentiel chimique.</p> <p>Relier la variation de l'enthalpie libre et la création d'entropie lors d'une transformation spontanée à T et P constantes. Établir un critère d'évolution et un critère</p>

<p>Identité d'Euler.</p> <p>Activité d'un constituant.</p>	<p>d'équilibre à partir de l'évolution de G.</p> <p>Exprimer le lien entre l'enthalpie libre d'un mélange et les potentiels chimiques des constituants.</p> <p>Définir l'activité d'un constituant dans un mélange idéal.</p> <p>Exprimer et utiliser le potentiel chimique d'un constituant dans un mélange idéal (phase condensée, gaz) et dans une solution diluée.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter d'applications, au laboratoire, dans l'industrie ou dans le vivant, de l'influence de la pression sur le potentiel chimique.</p>
<p>4. Changements d'état d'un corps pur ou d'un mélange</p> <p>Condition d'équilibre d'un corps pur sous deux phases. Enthalpie de changement d'état. Entropie de changement d'état.</p> <p>Calorimétrie.</p> <p>Construction et lecture de diagrammes d'équilibre de systèmes binaires. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité totale à l'état liquide ; azéotrope. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité nulle à l'état liquide ; hétéroazéotrope. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité totale à l'état solide. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité nulle à l'état solide ; eutectique.</p> <p>Théorème des moments.</p>	<p>Interpréter la condition d'équilibre par une égalité de potentiels chimiques.</p> <p>Relier, pour un équilibre entre deux phases, les grandeurs H, S et V aux grandeurs massiques ou molaires associées et au titre en vapeur.</p> <p>Utiliser la relation entre les entropies molaires (massiques) et les enthalpies molaires (massiques) de changement d'état.</p> <p>Réaliser un bilan enthalpique dans le cas d'un changement d'état.</p> <p>Réaliser des mesures calorimétriques à l'aide d'une méthode électrique ou par mélange.</p> <p>Exploiter un faisceau de courbes d'analyse thermique pour établir l'allure d'un diagramme binaire.</p> <p>Attribuer les différentes zones du diagramme</p> <p>Calculer et commenter la valeur de la variance en un point du diagramme</p> <p>Repérer un point azéotropique ou hétéroazéotropique. Repérer un point eutectique.</p> <p>Expliquer une technique de séparation des constituants d'un mélange à l'aide d'un diagramme binaire isobare (distillation fractionnée, hydrodistillation, entraînement à la vapeur, distillation hétéroazéotropique).</p> <p>Déterminer la composition d'un système en un point donné du diagramme.</p> <p>Mettre en œuvre l'extraction d'un constituant dans un mélange à l'aide d'un</p>

	<p>montage approprié.</p> <p>Approche documentaire : illustrer l'intérêt des diagrammes binaires dans le domaine des sciences de la Terre ou du génie des procédés agroindustriels.</p>
<p>5. Thermodynamique chimique</p> <p>Grandeur de réaction. Etat standard. Enthalpie standard de réaction et entropie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, entropie standard absolue. Loi de Hess.</p> <p>Premier principe appliqué à la réaction chimique. Variation d'enthalpie du système, mesures calorimétriques.</p> <p>Affinité chimique. Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique dont l'évolution spontanée est modélisée par une seule réaction à T et P constants.</p> <p>Enthalpie libre standard de réaction dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. Constante thermodynamique d'équilibre : relation de Van't Hoff.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques.</p>	<p>Déterminer l'enthalpie standard et l'entropie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques. Interpréter le signe de l'enthalpie standard de réaction. Prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p> <p>Réaliser des bilans enthalpiques pour calculer un transfert thermique ou une variation de température au cours d'une réaction.</p> <p>Relier l'affinité chimique et l'enthalpie libre de réaction. Relier l'affinité chimique à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient réactionnel. Relier le sens d'évolution d'un système chimique au signe de l'affinité chimique. Identifier, en utilisant l'affinité ou la comparaison de la constante thermodynamique d'équilibre et le quotient réactionnel, si le système à l'état final se trouve dans une situation d'équilibre chimique ou hors-équilibre chimique.</p> <p>Calculer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des grandeurs standard de réaction. Modéliser l'évolution de la constante thermodynamique d'équilibre avec la température dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Interpréter la valeur d'une variance. Identifier un système de variance nulle ou monovariant.</p> <p>Utiliser l'affinité chimique ou la comparaison du quotient de réaction et de la constante thermodynamique d'équilibre pour interpréter l'influence d'une variation de température, de pression sur un système chimique initialement à l'équilibre.</p>

6. Réactions en solution aqueuse	
Formation de complexes, ligands.	Identifier la formule d'un complexe à partir de son nom systématique, dans le cas de ligands simples.
Constante globale de formation β_n . Constantes de formation successives. Domaines de prédominance. Compétition entre ligands.	Utiliser un diagramme de prédominance fourni pour déterminer la réaction prépondérante. Calculer les concentrations à l'état final dans les cas simples mettant en jeu une unique réaction prépondérante, en faisant les approximations pertinentes. Mettre en œuvre et analyser un dosage complexométrique suivi par un indicateur de fin de réaction ou par potentiométrie.
Influence du pH.	Écrire la réaction de dissociation d'un complexe en milieu acide et calculer sa constante thermodynamique d'équilibre.
Réaction de précipitation d'un composé ionique. Produit de solubilité K_s ; condition de précipitation. Domaine d'existence.	Utiliser la condition de précipitation pour déterminer si une solution est saturée. Établir un diagramme d'existence d'un composé ionique solide.
Solubilité. Facteurs de solubilité : température, ion commun, pH et complexation.	Calculer la solubilité d'un solide connaissant le produit de solubilité. Étudier le déplacement de l'équilibre de dissolution sous l'influence d'un ion commun, du pH ou d'une complexation. Interpréter un diagramme donnant $\log s$ en fonction du pH. Approche documentaire : illustrer l'importance de la complexation et de la précipitation des ions métalliques en géochimie et en biochimie. Mettre en œuvre et analyser un titrage par précipitation suivi par colorimétrie ou par potentiométrie
Oxydoréduction. Potentiel d'oxydoréduction, potentiel standard d'oxydoréduction. Affinité chimique de la réaction d'oxydoréduction.	Relier l'affinité chimique de la réaction d'oxydoréduction à la différence de potentiel entre les deux couples. Connaître la valeur du potentiel standard du couple H^+/H_2 . Déterminer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des potentiels standard.
Formule de Nernst.	
Electrodes, électrodes de référence.	Décrire les électrodes usuelles utilisées au laboratoire : électrode d'argent, électrode de platine, électrode au calomel saturé et sa protection.
Pile	Prévoir les réactions aux électrodes et le sens de déplacement des charges et des ions.

<p>Déplacement d'un équilibre d'oxydoréduction par complexation et précipitation.</p> <p>Influence du pH ; potentiel standard apparent.</p>	<p>Justifier l'évolution du caractère oxydant ou réducteur d'une espèce sous l'effet de la complexation ou de la précipitation.</p> <p>Relier le pouvoir oxydant d'un couple au potentiel standard apparent d'un couple. Faire le lien avec les conditions standard de la biologie.</p> <p>Connaître un exemple de couple oxydant/réducteur intervenant en biologie : NAD^+/NADH</p> <p>Mettre en œuvre et exploiter un titrage d'oxydoréduction suivi par potentiométrie.</p> <p>Mettre en œuvre une pile électrochimique et déterminer expérimentalement une constante thermodynamique d'équilibre.</p>
<p>Lecture de diagrammes potentiel-pH.</p>	<p>Identifier les zones d'un diagramme potentiel-pH</p> <p>Justifier à l'aide de la formule de Nernst la pente d'un segment de droite dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Retrouver la valeur d'une constante thermodynamique d'équilibre ou d'un potentiel standard à partir du diagramme potentiel-pH.</p> <p>Repérer une situation de dismutation dans un diagramme.</p> <p>Identifier les espèces thermodynamiquement stables dans l'eau.</p> <p>Prédire les réactions thermodynamiquement favorisées par superposition de diagrammes potentiel-pH.</p> <p>Justifier un protocole expérimental à l'aide d'un diagramme fourni</p>

II. Phénomènes de transport

Cette partie présente le cadre conceptuel et des applications pratiques des phénomènes de transport. Différents modes de transport sont envisagés : transport de matière ou d'énergie dans un milieu au repos (conduction électrique, thermique, diffusion de matière) et transport convectif de masse et d'énergie. Leur étude se limite au cas du régime permanent.

Est d'abord étudié le transport par conduction dans un milieu immobile ; le flux de charges, de chaleur ou de matière est conditionné par une différence de potentiel électrique, de température ou de concentration. La conduction électrique pourra être illustrée par des transferts de charge en milieu biologique ou en conductimétrie.

Les analogies entre les transports par conduction sont systématiquement exploitées : la notion de résistance thermique est introduite par analogie avec la résistance électrique. De même, l'étude du transport de matière par diffusion est conduite en parallèle avec les approches précédentes, les équations de transport y sont établies par analogie avec la conduction thermique.

Est ensuite abordé le transport de masse et d'énergie par convection. Le bilan d'énergie sur un système ouvert est effectué uniquement pour un régime permanent. Il permet de modéliser les échanges d'énergie dans un élément d'une machine thermique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Flux d'une grandeur extensive</p> <p>Vecteur densité de courant (ou densité de flux). Flux.</p>	<p>Utiliser les expressions des surfaces usuelles (cylindre, disque, sphère). Choisir, en fonction de la symétrie du transport, la surface appropriée à la détermination d'un flux. Exprimer le flux dans le cas de symétries simples (axiales, radiales cylindrique et sphérique).</p>
<p>2. Conduction électrique</p> <p>Conduction électrique. Loi d'Ohm locale. Résistance électrique.</p>	<p>Exprimer la résistance électrique d'un conducteur dans le cas d'un transport de vecteur densité de courant uniforme.</p>
<p>3. Conduction thermique</p> <p>Conduction thermique. Résistance thermique.</p> <p>Loi de Fourier.</p> <p>Diffusivité thermique.</p>	<p>Réaliser une analogie entre la conduction électrique et la conduction thermique. Interpréter une association de résistances thermiques. Établir, dans le cas d'un transport unidirectionnel, un bilan local d'énergie, avec source volumique ou avec échange à travers la paroi. Exprimer le temps caractéristique d'un régime transitoire par analyse dimensionnelle. Établir un bilan global d'énergie dans le cas d'un transport radial cylindrique ou sphérique en régime permanent. Exprimer le champ de température en régime permanent, après avoir proposé des critères plausibles de continuité ou de non divergence.</p>
<p>4. Diffusion de matière</p> <p>Transferts de masse par convection ou diffusion.</p> <p>Loi de Fick.</p>	<p>Citer les deux modes de transfert de masse.</p> <p>Interpréter le transport par diffusion à l'aide du potentiel chimique. Procéder par analogie lors de la réalisation de bilans local ou global entre les phénomènes de conduction thermique et de diffusion de matière, les capacités exigibles étant identiques.</p>
<p>5. Transport de masse et d'énergie par convection</p> <p>Débit massique Bilan global de masse sur un système ouvert.</p>	<p>Justifier le caractère conservatif d'un flux de masse en régime permanent.</p>

<p>Bilan d'énergie en régime permanent sur un système ouvert. Travail utile.</p>	<p>Établir un débit volumique à partir d'un débit massique dans le cas d'un écoulement incompressible.</p> <p>Savoir que le flux convectif d'une grandeur est le produit du débit massique par la grandeur massique correspondante. Formuler le premier principe sur un système ouvert sous forme d'un bilan élémentaire et en termes de puissance.</p>
<p>Machines thermiques.</p>	<p>Appliquer le premier principe en système ouvert et en régime permanent à des éléments simples d'une machine thermique : échangeur thermique, compresseur, détendeur isenthalpique, mélangeur. Réaliser un bilan local sur un échangeur thermique monodimensionnel. Estimer à partir des différents éléments d'une machine pris séparément le travail utile et le transfert thermique en termes de puissances ou de grandeurs massiques. Établir le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique.</p>

III. Signal et rayonnement

De nombreux phénomènes en physique linéaire peuvent être modélisés par un oscillateur électrique amorti. Cet oscillateur joue un rôle central tant par son étude en régime transitoire qu'en régime sinusoïdal forcé. Un des objectifs de cet enseignement est l'acquisition progressive d'un outil mathématique riche et adapté tout en permettant un réinvestissement dans des domaines très divers. Le support que constitue l'approche expérimentale doit donner à l'étudiant les appuis nécessaires à l'assimilation de ces notions.

En complément du chapitre II « Signaux physiques » de première année, l'enseignement de seconde année prolonge les notions abordées par l'étude de filtres électroniques en régime sinusoïdal forcé. Les objectifs ne sont pas ici d'établir la fonction de transfert complexe d'un filtre mais bien de comprendre l'influence de ce dispositif sur un signal électrique périodique et sa capacité à sélectionner une fréquence. De manière symétrique, cette capacité, abordée en électricité avec les filtres, est réinvestie en optique ondulatoire avec l'étude d'un réseau plan dans un montage monochromateur. L'approche du réseau sera exclusivement expérimentale, la formule étant donnée.

Cet enseignement est enfin l'occasion de découvrir l'imagerie par échographie ultrasonore. Cette technique est ici choisie de par son importance parmi l'ensemble des techniques d'imagerie à usage médical. Les propriétés des dioptries acoustiques seront décrites par analogie avec celles des dioptries optiques. La constitution d'une image est présentée par la mesure du temps d'écho sur un dioptrie acoustique, enrichie par les informations apportées par l'effet Doppler. Les objectifs de cet enseignement sont de familiariser les étudiants avec les principes physiques de constitution d'une image et avec les méthodes modernes de traitement numérique, en lien avec le programme d'informatique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Oscillateurs libres amortis</p> <p>Bobine inductive.</p> <p>Oscillations libres d'un circuit <i>RLC</i>.</p>	<p>Utiliser la relation courant-tension pour une bobine idéale.</p> <p>Connaître la condition de continuité du courant à travers une bobine.</p> <p>Modéliser une bobine réelle par l'association d'une inductance idéale et d'une résistance interne.</p> <p>Établir l'équation différentielle régissant l'oscillateur.</p> <p>Faire le lien avec l'oscillateur mécanique.</p> <p>Identifier la nature du régime : pseudo-périodique ou apériodique.</p> <p>Déterminer le coefficient d'amortissement et la pseudo-période à partir d'un graphe ou de la solution fournis.</p> <p>Montrer que l'oscillateur harmonique est un cas limite de l'oscillateur amorti.</p> <p>Réaliser un montage permettant de visualiser l'évolution temporelle d'une grandeur électrique dans un circuit <i>RLC</i>.</p>
<p>2. Régime sinusoïdal forcé</p> <p>Circuits <i>RLC</i> en régime sinusoïdal forcé. Résonance.</p> <p>Filtres.</p>	<p>Savoir utiliser la notation complexe dans une situation où une équation linéaire intervient.</p> <p>Définir l'amplitude et le déphasage d'une grandeur.</p> <p>Utiliser les impédances associées à un résistor, un condensateur idéal et une bobine idéale.</p> <p>Représenter des schémas équivalents à basse fréquence et à haute fréquence.</p> <p>Utiliser les lois de Kirchhoff et les théorèmes dérivés en régime sinusoïdal forcé.</p> <p>Calculer l'amplitude d'une grandeur électrique.</p> <p>Exprimer la condition pour que deux grandeurs électriques soient en phase.</p> <p>Mesurer le déphasage entre deux grandeurs.</p> <p>Identifier la nature d'un filtre passe-bas, passe-haut ou passe-bande à partir d'une fonction de transfert donnée.</p> <p>Mesurer le facteur d'amplification d'un filtre et le déphasage entre les signaux d'entrée et de sortie.</p>
<p>3. Application à la production et l'analyse de signaux</p> <p>Onde progressive sinusoïdale dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire et non dispersive. Célérité, périodicité spatiale et temporelle.</p>	<p>Écrire le signal sous la forme $A \cos(\omega(t-x/c))$ ou $A \cos(\omega(t+x/c))$.</p> <p>Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p>

<p>Analyse spectrale d'un rayonnement.</p> <p>Ondes sonores. Surpression acoustique. Intensité acoustique.</p> <p>Effet Doppler</p> <p>Dioptre acoustique ; réflexion et transmission d'une onde acoustique en incidence normale.</p> <p>Imagerie par échographie ultrasonore.</p>	<p>Sélectionner et mesurer une longueur d'onde dans le domaine visible à l'aide d'un monochromateur à réseau.</p> <p>Relier l'intensité acoustique à la moyenne quadratique de la surpression.</p> <p>Démontrer l'expression du décalage Doppler non relativiste de la fréquence dans le cas unidirectionnel. Mettre en œuvre une mesure de vitesse par effet Doppler.</p> <p>Identifier le dioptre comme l'interface entre deux milieux de célérités différentes.</p> <p>Relier le retard de l'écho ultrasonore à la position du dioptre. Mettre en œuvre une mesure d'écho temporel. Indiquer le principe de formation d'une image par échographie ultrasonore. Indiquer l'apport réalisé par le couplage échographie effet doppler.</p>
--	---

IV. Mécanique

L'enseignement de mécanique de deuxième année complète celui de mécanique du point de première année ; il aborde la statique du solide, et traite de l'oscillateur mécanique amorti. L'étude de celui-là est à rapprocher de celle de l'oscillateur électrique amorti. Leurs présentations doivent exploiter les profondes analogies entre oscillateurs mécanique et électrique, et sont conditionnées par les choix pédagogiques du professeur.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Conditions d'équilibre d'un solide</p> <p>Centre de masse d'un solide.</p> <p>Moment d'une force par rapport à un axe fixe. Bras de levier.</p> <p>Condition d'équilibre d'un solide dans un référentiel galiléen.</p>	<p>Définir le centre de masse d'un solide.</p> <p>Algébriser les moments de forces. Exprimer le moment d'une force dans un problème bidimensionnel en utilisant le bras de levier ou une projection appropriée.</p> <p>À partir de situations simples prises dans le domaine biomécanique par exemple, écrire les conditions nécessaires à l'équilibre d'un solide (nullité des résultantes des forces et de la somme des moments).</p>
<p>2. Forces conservatives, énergie potentielle</p> <p>Potentiel d'un champ newtonien : potentiel électrique et potentiel de gravitation.</p>	

Relation entre force et énergie potentielle.	Relier la force au gradient d'énergie potentielle. Démontrer le caractère conservatif d'une force dérivant d'une énergie potentielle.
Oscillations libres et forcées.	Établir l'équation différentielle du mouvement. Faire le lien avec l'oscillateur électrique.

V. Mécanique des fluides

L'enseignement de mécanique des fluides dans la filière BCPST est l'occasion d'apporter des éléments de réflexion nécessaires à la compréhension de phénomènes naturels (météorologie, circulation sanguine...).

Les lois de conservation de la masse et de l'énergie sont présentées sous la forme de bilans globaux sur un volume de contrôle fini. La conservation de l'énergie pour l'écoulement d'un fluide parfait permet d'introduire la notion de charge exprimée en pascal et homogène à une densité volumique d'énergie.

Dans le cadre des écoulements réels, l'enseignement en BCPST privilégie la détermination et l'interprétation de la valeur du nombre de Reynolds. Un des objectifs est ici de pouvoir valider l'utilisation de certaines lois. Les exemples d'écoulements à bas nombre de Reynolds sont choisis dans les domaines des sciences de la vie et de la terre. L'approche expérimentale doit permettre non seulement de maîtriser la manipulation de certains dispositifs simples (manomètres) mais aussi d'adapter à des situations réelles les lois de la mécanique des fluides.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Statique des fluides</p> <p>Particule de fluide, échelle mésoscopique.</p> <p>Densité volumique des forces de pression. Équation de la statique des fluides.</p> <p>Forces pressantes.</p> <p>Poussée d'Archimède.</p>	<p>Établir le lien entre la densité volumique d'une force de pression et le gradient de pression. Établir l'équation locale de la statique des fluides et utiliser le système de coordonnées adaptées à son intégration.</p> <p>Exprimer la force pressante exercée sur une surface plane soumise à une pression uniforme. Démontrer et utiliser le théorème d'Archimède. À partir de situations simples prises dans le domaine des géosciences, utiliser le théorème d'Archimède.</p>
<p>2. Dynamique des fluides</p> <p>Trajectoire. Champ de vitesse, ligne de courant.</p> <p>Bilan d'énergie mécanique.</p>	<p>Identifier le vocabulaire spécifique à la description du mouvement d'un fluide (trajectoire, ligne de courant). Décrire une ligne de courant dans le cas d'un écoulement permanent. Interpréter un document (schéma, photo d'un écoulement) : profil de vitesse, lignes de courant.</p> <p>Établir un bilan d'énergie mécanique dans le</p>

<p>Dynamique des fluides parfaits Relation de Bernoulli. Conservation de la charge.</p> <p>Mesure d'une vitesse. Tube de Pitot.</p> <p>Mesure d'un débit volumique. Tube de Venturi.</p> <p>Dynamique des fluides réels Viscosité dynamique ; viscosité cinématique.</p> <p>Force tangentielle de viscosité d'un fluide newtonien.</p> <p>Loi de Poiseuille. Résistance hydraulique.</p> <p>Nombre de Reynolds.</p> <p>Écoulement à bas nombre de Reynolds (écoulements rampants).</p> <p>Écoulement dans un milieu poreux. Porosité. Pression effective. Perméabilité. Loi de Darcy.</p>	<p>cas d'un écoulement monodimensionnel et permanent d'un fluide incompressible. Exprimer le travail utile massique dans le cas de l'écoulement d'un fluide parfait.</p> <p>Écrire et interpréter la conservation de l'énergie volumique. Utiliser la conservation de la charge le long d'une ligne de courant d'un écoulement permanent d'un fluide parfait et incompressible.</p> <p>Décrire le principe d'un tube de Pitot. Établir la relation donnant la vitesse du fluide.</p> <p>Décrire le principe d'un tube de Venturi. Décrire le principe d'une trompe à eau. Établir la relation donnant le débit volumique d'un liquide ou d'un gaz.</p> <p>Identifier les propriétés des fluides newtoniens soumis à un cisaillement simple plan.</p> <p>Exprimer le taux de déformation dans le système de coordonnées approprié à la géométrie de l'écoulement. Donner le lien entre la force tangentielle de viscosité et le taux de déformation.</p> <p>Établir l'expression du débit volumique dans le cas d'un écoulement dont le profil de vitesse est donné. Définir la résistance hydraulique d'une conduite. Procéder par analogie avec les associations de résistances électriques pour proposer un modèle simplifié de la circulation sanguine. Utiliser la pression motrice dans le cas d'une dénivellation.</p> <p>Calculer et interpréter le nombre de Reynolds d'un écoulement dans un conduit ou autour d'un obstacle. Connaitre des ordres de grandeur du nombre de Reynolds permettant de différencier les régimes d'écoulements laminaire et turbulent.</p> <p>Identifier les propriétés des écoulements à bas nombre de Reynolds.</p> <p>Définir la porosité d'un milieu. Établir le lien entre la porosité d'un milieu et la perméabilité dans le cadre d'un modèle simplifié de capillaires parallèles.</p>
---	---

Mouvement d'une bille dans un fluide newtonien. Loi de Stokes.	Utiliser la loi de Darcy. Utiliser la pression motrice dans le cas d'une dénivellation. Identifier les conditions d'application de la loi de Stokes. Approche documentaire : Illustrer un processus de sédimentation. Mesurer une différence de pression avec un manomètre différentiel. Mettre en œuvre une détermination de porosité et de perméabilité. Mettre en œuvre une détermination de viscosité.
---	--

VI. Chimie organique

L'enseignement de chimie organique poursuit l'objectif de fournir aux étudiants les outils permettant d'interpréter ou de prévoir la réactivité dans des conditions données, celles d'un milieu biologique ou d'un milieu de synthèse. Dans cette optique, les mécanismes d'addition-élimination viennent compléter ceux déjà présentés en première année.

La création de liaisons entre deux atomes de carbone mobilise l'ensemble des connaissances en chimie organique. La vision globale qui en résulte permet de comprendre les étapes apparaissant dans les grands cycles de la biochimie ou dans une synthèse totale. Elle permet également l'élaboration d'une stratégie de synthèse visant à allonger le squelette carboné d'un nombre donné d'atomes. On soulignera que les réactions renversables peuvent être utilisées pour réaliser des séquences de protection/déprotection.

Dans le cadre des préoccupations environnementales, on sensibilisera les étudiants à l'utilisation de matières premières biosourcées et à l'étude des caractéristiques environnementales des produits formés par analyse de leur cycle de vie. Il pourra à ce sujet être proposé aux étudiants l'étude d'une synthèse multiétapes industrielle afin de faire un bilan environnemental s'inscrivant dans le projet de « chimie verte ».

La présentation, limitée, des réactions radicalaires permet de montrer la diversité des processus de formation de liaisons. Il est donc exclu de présenter de façon exhaustive la chimie radicalaire ; celle-ci devra être limitée à des exemples de réactions de biochimie. L'objectif est de pouvoir comprendre un mécanisme par transfert monoélectronique présenté dans un document.

Enfin, on s'appuiera dès que le sujet s'y prête sur les résultats apportés par les méthodes spectroscopiques (UV-visible, infrarouge et résonance magnétique du proton) acquises en terminale et réinvesties en première année BCPST.

Notions	Capacités exigibles
1. Réactions d'addition-élimination Présentation des acide, ester, amide, chlorure d'acyle, anhydride, nitrile. Activation du groupe carboxyle. Synthèse des esters et des amides.	Graduer la réactivité des dérivés d'acide sur une échelle. Écrire l'équation de la réaction de formation d'un chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle sur un acide. Écrire le mécanisme de l'estérification de Fischer et de l'acylation d'un alcool ou d'une amine par un chlorure d'acyle ou un anhydride.

<p>Synthèse d'un ester méthylique avec le diazométhane.</p> <p>Saponification des esters ; mécanisme. Hydratation acide des nitriles et hydrolyse acide des amides ; mécanismes.</p>	<p>Écrire le mécanisme d'obtention d'un ester méthylique en utilisant le diazométhane.</p>
<p>2. Création de liaisons C–C et C=C par utilisation d'un atome de carbone nucléophile</p> <p>Substitution nucléophile et addition nucléophile par l'ion cyanure ; mécanismes.</p> <p>Action d'un organomagnésien sur les composés carbonylés, les esters, le dioxyde de carbone et l'oxirane.</p> <p>Acidité de l'atome d'hydrogène en alpha d'un groupe carbonyle.</p> <p>C-alkylation en position alpha d'un groupe carbonyle de cétone : mécanisme limite.</p> <p>Aldolisation non dirigée : mécanisme en milieu basique aqueux ou alcoolique. Aldolisation (cétolisation) croisée dirigée avec déprotonation totale préalable : mécanisme.</p> <p>Crotonisation : déshydratation de l'aldol (cétol) en présence d'une base, mécanisme E1_{cb} ; régiosélectivité.</p> <p>Synthèse malonique.</p> <p>Réaction de Wittig.</p>	<p>Écrire le mécanisme de la réaction de l'ion cyanure sur un composé halogéné. Écrire le mécanisme de l'addition de l'ion cyanure sur un composé carbonylé suivie d'un traitement à pH contrôlé.</p> <p>Justifier l'inversion de polarité sur l'atome de carbone résultant de l'insertion de magnésium dans la liaison carbone-halogène. Justifier l'utilisation de l'éthoxyéthane ou du tétrahydrofurane comme solvant Écrire les schémas réactionnels sur les composés cités. Mener la synthèse d'un organomagnésien en justifiant les précautions mises en œuvre.</p> <p>Justifier l'acidité de l'atome d'hydrogène porté par un atome de carbone en alpha d'un groupe électroattracteur.</p> <p>Choisir dans le cadre d'une stratégie de synthèse les meilleures conditions de préparation d'un aldol (cétol) issu d'une aldolisation (cétolisation) croisée.</p> <p>Justifier les étapes d'une synthèse malonique à partir des mécanismes étudiés précédemment. Écrire l'équation de la réaction de décarboxylation.</p> <p>Écrire l'équation de la réaction de formation d'un ylure de phosphore. Identifier le dérivé carbonyle et de dérivé halogéné, précurseur de l'ylure, mise en œuvre dans la création de la liaison C=C.</p>

<p>3. Chimie radicalaire</p> <p>Écriture des mécanismes radicalaires.</p> <p>Stabilité des radicaux organiques.</p>	<p>Décrire un transfert monoélectronique par le formalisme des flèches courbes.</p> <p>Ecrire des formes mésomères limite pour le radical $-\text{CH}=\text{CH}-\dot{\text{C}}\text{H}-\text{CH}=\text{CH}-$ et le radical phénoxy.</p> <p>Approche documentaire : étudier une réaction radicalaire en biochimie.</p>
--	---

Appendice 1 : matériel

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

Domaine optique : et acoustique

- goniomètre
- réseau plan

Domaine acoustique :

- émetteur et récepteur acoustique dans la gamme des ultrasons ou audible

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique-chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu au terme des deux années de formation en BCPST.

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

En aucun cas la difficulté des évaluations ne doit porter sur la technique mathématique de résolution.

<p>1. Équations algébriques</p> <p>Système linéaire de n équations.</p>	<p>Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires.</p> <p>Réaliser les opérations élémentaires permettant la résolution du système (multiplication par un scalaire, combinaisons linéaires).</p> <p>Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$.</p>
---	---

Équation non linéaire.	Utiliser l'apport graphique ou numérique pour la recherche des solutions.
<p>2. Équations différentielles</p> <p>Équations différentielles.</p> <p>Équations différentielles linéaires du premier ordre ou du second ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(t)$ et $y'' + ay' + by = f(t)$</p> <p>Équations différentielles dites à variables séparables.</p>	<p>Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.</p> <p>Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Établir une équation aux dimensions et Interpréter la signification des coefficients a et b. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(t)$ est constante ou de la forme $A.exp(kt)$. Utiliser la notation complexe lorsque $f(t)$ est de la forme $A.cos(\omega t + \varphi)$. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution et retrouver numériquement, dans les cas simples où $f(t)$ est constante, les coefficients a et b.</p> <p>Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables.</p>
<p>3. Fonctions</p> <p>Fonctions usuelles.</p> <p>Dérivée. Notation dx/dt. Développements limités.</p> <p>Primitive et intégrale.</p> <p>Valeur moyenne.</p> <p>Représentation graphique d'une fonction.</p>	<p>Exponentielle, logarithmes népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle $f(x) = x^a$.</p> <p>Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^a$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.</p> <p>Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos, \sin, \cos^2 et \sin^2.</p> <p>Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local.</p>

Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Identifier les différents termes apparaissant dans le développement en série de Fourier d'une fonction périodique. Reconnaitre le terme associé à la valeur moyenne de la fonction.
<p>4. Géométrie</p> <p>Vecteurs et système de coordonnées.</p> <p>Projection d'un vecteur et produit scalaire.</p> <p>Transformations géométriques.</p> <p>Courbes planes.</p> <p>Longueurs, aires et volumes classiques.</p> <p>Barycentre d'un système de points.</p>	<p>Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.</p> <p>Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée.</p> <p>Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace.</p> <p>Reconnaitre l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une parabole.</p> <p>Donner les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, de l'aire d'un cylindre, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.</p> <p>Connaître la définition du barycentre. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène.</p>
<p>5. Trigonométrie</p> <p>Angle orienté.</p> <p>Fonctions cosinus, sinus et tangente.</p> <p>Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.</p>	<p>Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.</p> <p>Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente. En physique-chimie, un formulaire sera mis à disposition dans le cas d'une manipulation de relations trigonométriques.</p> <p>Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.</p>
<p>6. Fonctions de plusieurs variables</p> <p>Fonctions de plusieurs variables.</p>	<p>Exprimer la différentielle d'une fonction de plusieurs variables en fonction de ses dérivées partielles. Intégrer une expression différentielle lorsque</p>

<p>Éléments différentiels de longueur, de surface et de volume.</p>	<p>les variables x et y sont clairement séparées : $df = A(x)dx + B(y)dy$.</p> <p>Exprimer un élément de longueur en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Exprimer un élément de surface en coordonnées cartésiennes et polaires. Exprimer un élément de volume en coordonnées sphériques et cylindriques lorsque les symétries du système réduisent le problème à une seule variable.</p>
<p>Gradient d'un champ scalaire.</p>	<p>Définir le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques. Connaître la composante radiale de l'opérateur gradient en symétrie sphérique. Utiliser le lien géométrique entre le gradient d'une fonction f et les surfaces iso-f.</p>
<p>Intégration d'un champ vectoriel.</p>	<p>Utiliser un système de coordonnées approprié pour le calcul de la circulation d'un vecteur. Utiliser les symétries pour établir le flux d'un champ vectoriel à travers une surface définie.</p>

ANNEXE 3

Projet de programme de mathématiques BCPST2

Préambule

Objectifs de la formation

En classe de BCPST2 l'objectif est, dans le cadre d'un approfondissement de la formation, d'amener l'étudiant à intégrer les différentes étapes permettant de résoudre un problème exprimable de façon mathématique. L'enjeu est la reformulation et la résolution de problèmes issus de contextes ou de réalités a priori non mathématiques (provenant souvent d'autres disciplines).

Ainsi sont mises en jeu diverses compétences. Certaines ont déjà été envisagées en première année (BCPST1), et sont consolidées en seconde année :

1. Engager une recherche, définir une stratégie.
2. Modéliser un phénomène à l'aide du langage mathématique.
3. Représenter, changer de registre.
4. Raisonner, démontrer, argumenter. . .
5. Calculer (symboliquement ou numériquement avec une calculatrice ou un ordinateur), maîtriser le formalisme mathématique.
6. Communiquer à l'écrit et à l'oral.

D'autres constituent des objectifs plus spécifiquement approfondis en seconde année, dans la perspective des concours :

- Identifier un problème sous différents aspects ;
- Mobiliser des connaissances scientifiques pertinentes ;
- Critiquer ou valider un modèle ou un résultat.

Buts visés

Le programme de mathématiques de BCPST2 approfondit celui de BCPST1, ce qui se traduit par les enjeux suivants.

- Consolider les acquis mathématiques de BCPST1, notamment en matière de calculs et raisonnement. Par souci de clarté, il a été choisi de numéroter de manière compatible les têtes de chapitre des programmes de BCPST1 et de BCPST2.
- Généraliser et compléter les concepts introduits en BCPST1.
- Mettre un accent particulier sur la notion de modélisation, où se confrontent les mathématiques et les autres sciences, notamment dans le cadre des T.I.P.E.

Équilibre entre compétences

Les différentes compétences sont développées puis évaluées (au cours de l'année puis lors des concours) en veillant à leur équilibre. On prend garde en particulier à ne pas surdévelopper une compétence par rapport à une autre.

Les capacités en calcul par exemple (point 5 ci-dessus), lorsqu'elles sont propres aux mathématiques, restent relativement simples, l'objectif n'étant pas ici d'aboutir à une virtuosité technique. On

attend, en la matière, une maîtrise solide des calculs, concepts et théorèmes mathématiques, dans des situations courantes, sans pour autant négliger les autres compétences.

Contenu

Le programme de seconde année combine des révisions du programme de première année, des approfondissements de certaines parties et des nouveautés.

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

En **algèbre linéaire**, le passage de K^n aux espaces vectoriels généraux permet d'élargir le champ d'action et de donner une vision géométrique des espaces de fonctions. Ce cadre plus systématique permet de donner un sens à l'étude des bases et changements de base qui sont fondamentaux pour aborder les valeurs propres et vecteurs propres des applications linéaires et des matrices ; cette dernière approche se limite à la diagonalisation pour s'en tenir à des phénomènes simples. En vue de nombreuses applications (optimisation, analyse de données), est proposée une présentation du produit scalaire dans \mathbf{R}^n et du théorème de projection orthogonale. La notion de sous-espaces supplémentaires ne figure pas au programme, mais dans bien des situations le théorème de la projection orthogonale fournit une approche similaire tout en permettant un calcul effectif.

L'**analyse** apparaît sous forme de révision et est constamment présente dans les parties consacrées aux probabilités. C'est ainsi que les séries sont introduites comme outil de base des probabilités, tandis que l'étude des intégrales généralisées est insérée dans la mise en place des variables aléatoires à densité ; l'usage de ces outils est limité aux contextes probabilistes et aux démarches de modélisation ; on évitera les développements artificiels ou purement techniques à ce propos. Enfin, l'étude des couples de variables aléatoires discrètes conduit à définir, de manière très limitée, une notion de séries doubles.

L'étude des **probabilités** est donc un enjeu majeur du programme de seconde année. Le but de ce parcours est de mettre en place, de la manière la plus efficace possible, un contexte opérationnel permettant d'utiliser aussi bien des variables aléatoires discrètes prenant une infinité de valeurs (amenant notamment les lois géométrique et de Poisson) que des variables aléatoires à densité (dites « continues »), avec un accent particulier sur les variables gaussiennes. Pour maintenir le programme dans un volume raisonnable, les couples de variables aléatoires ne sont abordés que pour les variables discrètes, ce qui évite d'avoir à aborder les intégrales doubles. Les démarches de simulation de variables aléatoires sont fortement encouragées.

Une présentation de quelques concepts et résultats de **statistique inférentielle** permet de mettre en place un cadre précis pour les tests d'hypothèse.

La variété des modèles ainsi mis en place, combinés avec les différents théorèmes limites proposés, permet d'aborder de nombreuses applications dans les domaines les plus divers ; l'évocation de ces contextes applicatifs est un élément important de la formation et fait partie des buts visés. Comme dans le programme de première année, on signale par un symbole \Rightarrow certaines situations particulières où un lien avec d'autres enseignements scientifiques est encouragé, permettant de donner corps aux démarches de modélisation et d'application pratique des mathématiques.

En prolongement des programmes de première année en mathématiques et informatique, le programme encourage la **démarche algorithmique** et le recours aux **outils informatiques** ; le maniement de ces outils fait partie intégrante de la formation et a toute sa place dans l'évaluation en cours d'année et lors des concours.

Pour ce qui concerne les **révisions**, la proposition de consolider les compétences acquises en première année par quelques exercices ne doit pas être prise dans un sens restrictif : des approches

numériques, pouvant s'appuyer sur le programme d'informatique ou recourir à des outils logiciels ou des calculatrices, peuvent tout aussi bien renforcer la maîtrise des concepts et de leurs applications.

Programme de seconde année

La répartition en chapitres proposée ci-dessous (ainsi que l'agencement des chapitres de révisions) est fournie à titre indicatif et ne constitue pas une progression figée ou obligatoire. Les impératifs pédagogiques liés à la préparation aux concours peuvent justifier une organisation différente, sous réserve de maintenir une structure cohérente.

Le numérotation des chapitres reprend et complète celle du programme de première année.

Révisions 1 – Suites

Exercices et situations illustrant sur le programme de première année (Analyse 1 et Analyse 5).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

Révisions 2 – Fonctions

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 2, Analyse 3, Analyse 6, Analyse 7, Analyse 8).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

Révisions 3 – Dénombrements

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Outils 6). L'objectif est de mettre en place des techniques de calcul de cardinaux d'évènements.

Révisions 4 – Statistique descriptive

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Statistique 1).

⇒ Exemples en lien avec le programme d'informatique.

Probabilités 3 – Concepts de base des probabilités et des variables aléatoires

Ce chapitre étend le cadre des probabilités qui avait été posé en première année (Probabilités 1) pour aborder une situation plus générale, se prêtant à la définition des variables aléatoires discrètes ou à densité.

Les séries sont introduites ici comme un outil pour donner tout leur sens aux probabilités et variables aléatoires discrètes. En dehors de questions probabilistes, les séries ne doivent être utilisées que de manière exceptionnelle et en lien avec des démarches de modélisation.

On présente brièvement à cette occasion d'un point de vue axiomatique l'espérance, la variance et leurs propriétés générales. Elles seront reprises dans chacun des contextes étudiés (variables discrètes et continues).

Contenus	Commentaires
<p>a) Séries réelles</p> <p>Sommes partielles, convergence d'une série, somme d'une série convergente.</p> <p>Combinaison linéaire de séries convergentes.</p> <p>Théorème de convergence par comparaison pour deux séries à termes positifs u_n et v_n telles que $u_n \leq v_n$ à partir d'un certain rang.</p> <p>Convergence et somme de la série géométrique $\sum_{n \geq 0} q^n$ (pour $q < 1$) et des séries « dérivées » $\sum_{n \geq 1} nq^{n-1}$ et $\sum_{n \geq 2} n(n-1)q^{n-2}$.</p> <p>Convergence et somme de la série exponentielle $\sum_{n \geq 0} \frac{x^n}{n!}$.</p> <p>Convergence de $\sum_{n \geq 1} \frac{1}{n^2}$ et divergence de $\sum_{n \geq 1} \frac{1}{n}$.</p> <p>Convergence absolue.</p>	<p>La série est notée $\sum_{n \geq n_0} u_n$ ou plus succinctement $\sum u_n$. En cas de convergence, la somme de la série est notée $\sum_{n=n_0}^{+\infty} u_n$.</p> <p>Tout autre critère de convergence (équivalents, etc.) est hors programme.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>L'étude générale des séries de Riemann est hors programme.</p> <p>La convergence absolue est présentée comme une condition suffisante pour obtenir la convergence de la série.</p> <p>En vue des applications probabilistes, on admet que la valeur de la somme d'une série absolument convergente ne dépend pas de l'ordre d'énumération de ses termes.</p> <p>L'étude de séries semi-convergentes est hors programme.</p>
<p>b) Notion de probabilité</p> <p>Notion de tribu.</p> <p>Définition d'une probabilité sur (Ω, \mathcal{T}).</p> <p>Révision et extension à ce nouveau cadre des propriétés des probabilités et des définitions vues en première année, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soit $\Omega = \{\omega_i : i \in \mathbf{N}\}$. Si $(p_i)_{i \in \mathbf{N}}$ est une suite de réels positifs ou nuls telle que la série $\sum_{i \geq 0} p_i$ converge et a pour somme 1, alors il existe une et une seule probabilité P sur $(\Omega, \mathcal{P}(\Omega))$ telle que $P(\{\omega_i\}) = p_i$ pour tout $i \in \mathbf{N}$. 	<p>On convient de nommer événements les éléments d'une tribu.</p> <p>Une tribu \mathcal{T} (ou σ-algèbre) sur Ω est une partie de $\mathcal{P}(\Omega)$ contenant Ω, stable par passage au complémentaire et telle que, pour toute suite (B_n) d'événements, la réunion des B_n est un événement.</p> <p>Aucune question sur les tribus ne doit être proposée dans une épreuve de mathématiques.</p> <p>On met en valeur l'axiome de σ-additivité $P\left(\bigcup_{n=0}^{+\infty} B_n\right) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(B_n)$ pour des suites (B_n) d'événements deux à deux incompatibles, et on fait remarquer que la série $\sum_{n \geq 0} P(B_n)$ converge toujours.</p> <p>Les résultats sur la probabilité d'une réunion (resp. intersection) croissante (resp. décroissante) sont hors programme.</p> <p>On distingue l'événement impossible (resp. certain) des événements de probabilité nulle (resp. de probabilité 1).</p> <p>Résultat admis.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> • Une suite d'évènements (A_n) est un système complet d'évènements si les A_n sont deux à deux incompatibles et si leur réunion est égale à Ω. • Formule des probabilités totales : si (A_n) est un système complet d'évènements, alors, pour tout évènement B, la série $\sum_{n \geq 0} P(A_n \cap B)$ converge et $P(B) = \sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n \cap B)$. • Indépendance de deux évènements. Indépendance (mutuelle) de n évènements ; d'une suite d'évènements. 	<p>Pour une telle suite, on a $\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = 1$.</p> <p>Cette formule reste valable dans le cas d'une suite (A_n) d'évènements deux à deux incompatibles et tels que $\sum_{n=0}^{+\infty} P(A_n) = 1$; on dira dans ce cas que le système est quasi-complet. Interprétation en termes de probabilités conditionnelles, avec la convention suivante : si $P(A_n) = 0$, alors on pose $P(A_n)P(B A_n) = 0$.</p>
<p>c) Variables aléatoires réelles</p> <p>On nomme variable aléatoire réelle sur (Ω, \mathcal{T}) toute application X de Ω dans \mathbf{R} telle que, pour tout $a \in \mathbf{R}$, l'ensemble $\{\omega \in \Omega : X(\omega) \leq a\}$, noté $(X \leq a)$, soit un évènement. Si I est un intervalle de \mathbf{R}, alors $(X \in I) = \{\omega \in \Omega : X(\omega) \in I\}$ est un évènement.</p> <p>Fonction de répartition : $F_X : t \mapsto P(X \leq t)$. Croissance, limites en $\pm\infty$.</p> <p>Indépendance de deux variables aléatoires. Indépendance (mutuelle) de n variables aléatoires ; d'une suite de variables aléatoires.</p> <p>Deux variables X et Y sont indépendantes si, et seulement si pour tous intervalles I et J on a $P(X \in I \cap Y \in J) = P(X \in I) P(Y \in J)$.</p> <p>Propriétés de l'indépendance mutuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si X_1, X_2, \dots, X_n sont indépendantes, toute sous-famille l'est aussi. • Si $X_1, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_{n+p}$ sont indépendantes, alors $u(X_1, \dots, X_n)$ et $v(X_{n+1}, \dots, X_{n+p})$ sont indépendantes. • Si X_1, X_2, \dots, X_n sont indépendantes, alors $u_1(X_1), u_2(X_2), \dots, u_n(X_n)$ sont indépendantes. 	<p>Aucune vérification du fait qu'une fonction est une variable aléatoire ne sera demandée dans une épreuve de mathématiques.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Les propriétés de limites sont admises. On illustre la notion de fonction de répartition au moyen des variables aléatoires finies étudiées en première année.</p> <p>Lorsqu'on a une hypothèse d'expériences indépendantes, les variables associées sont indépendantes.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Ces résultats sont admis.</p>
<p>d) Espérance et variance</p> <p>Espérance. Notion de variable centrée.</p> <p>Généralisation des propriétés et des définitions vues en première année, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variance et moments d'une variable aléatoire. • Signe de la variance. • Écart-type $\sigma(X)$ d'une variable aléatoire X. • Formule de König-Huygens $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$. • Variance de $aX + b$. Notion de variable centrée réduite. • Si X est une variable aléatoire admettant une variance non nulle, $X^* = \frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$ est une variable centrée réduite. 	<p>En s'appuyant sur le programme de première année, on admet qu'il existe une fonction espérance notée E, définie sur une partie de l'ensemble des variables aléatoires sur (Ω, \mathcal{T}, P), à valeurs dans \mathbf{R}, possédant au moins les propriétés de linéarité, de positivité et vérifiant $E(1) = 1$. Ce développement doit rester modeste.</p> <p>X^* est appelée variable centrée réduite associée à X.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> Si X et Y sont indépendantes, on a : $E(XY) = E(X)E(Y)$, $V(X + Y) = V(X) + V(Y)$. 	Résultat admis. Généralisation au cas de n variables aléatoires indépendantes.

Exemples de capacités : modéliser une expérience aléatoire au moyen d'une probabilité ; calculer la probabilité d'un évènement ; exploiter une hypothèse d'indépendance pour calculer des probabilités.

Révisions 5 – Nombres complexes et polynômes

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Outils 2, Outils 3 et Algèbre).

Révisions 6 – Systèmes linéaires et matrices

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Algèbre linéaire 1 et 2).

Algèbre linéaire 3 – Espaces vectoriels

Ce chapitre reprend les concepts présentés en première année dans un cadre limité (K^n) et les adapte brièvement à d'autres espaces, de dimension finie ou non.

La notion de somme de sous-espaces vectoriels n'est pas au programme.

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

Contenus	Commentaires
a) Structure vectorielle Structure d'espace vectoriel. 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 espace vectoriel (sous réserve d'existence). Famille libre finie. Famille liée finie. Exemple fondamental de famille libre : toute famille finie de polynômes non nuls de degrés deux à deux distincts est libre. Base finie d'un espace vectoriel (sous réserve d'existence). Coordonnées d'un vecteur dans une base. Matrice des coordonnées d'une famille finie de vecteurs dans une base. Bases canoniques de K^n et $K_n[X]$.	On met plus particulièrement en valeur les espaces vectoriels suivants : K^n , l'ensemble des applications définies sur un intervalle I à valeurs dans K , $K[X]$, $K_n[X]$, $\mathcal{M}_{n,p}(K)$. L'étude d'espaces de suites n'est pas un objectif du programme. On introduit la notation $\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)$. D'autres exemples peuvent être proposés, mais les attendus du programme se limitent aux cas mentionnés.

Contenus (suite)	Commentaires
<p>b) Dimension</p> <p>De toute famille génératrice finie d'un espace E, on peut extraire une base.</p> <p>Toutes les bases de E ont le même cardinal ; ce nombre commun est appelé dimension de E.</p> <p>Dans un espace vectoriel de dimension n :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toute famille libre a au plus n éléments. • Une famille libre ayant n éléments est une base. • Toute famille génératrice a au moins n éléments. • Une famille génératrice ayant n éléments est une base. <p>Si F est un sous-espace vectoriel de E, alors F est de dimension finie et $\dim F \leq \dim E$. Si les deux dimensions sont égales, alors $F = E$.</p> <p>Rang d'une famille finie de vecteurs.</p>	<p>Ce résultat et le suivant sont admis.</p> <p>On dit alors que E est un espace vectoriel de dimension finie.</p> <p>Compte tenu des objectifs pédagogiques, la plupart de ces énoncés doivent être admis, mais on peut montrer comment certains de ces résultats peuvent en impliquer d'autres.</p> <p>Ce rang peut se calculer comme le rang de la matrice des coordonnées de la famille dans n'importe quelle base.</p>

Exemples de capacités : trouver une base et la dimension d'un espace vectoriel ; calculer le rang d'une famille finie de vecteurs ; capacités d'abstraction (ou d'adaptation) pour concevoir une fonction, un polynôme ou une matrice comme un vecteur.

Révisions 7 – Intégrales

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 9).
 \Rightarrow Exemples en lien avec le programme d'informatique.

Révisions 8 – Équations différentielles

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 4 et Analyse 10).
 \Rightarrow Exemples en lien avec le programme d'informatique.

Probabilités 4 – Variables aléatoires à densité

Ce chapitre reprend les probabilités dites « continues » (présentées en classe terminale) en les insérant dans un contexte cohérent avec ce qui précède, et met en place les modèles continus les plus courants : uniforme, exponentiel, normal.

Les intégrales généralisées sont introduites ici pour définir les variables aléatoires à densité. En dehors de questions probabilistes, les intégrales généralisées ne doivent être utilisées que de manière exceptionnelle et en lien avec des démarches de modélisation.

Contenus	Commentaires
<p>a) Intégrales généralisées</p> <p>Convergence d'une intégrale généralisée (ou impropre) d'une fonction continue sur un intervalle semi-ouvert ou ouvert.</p>	<p>La convergence est traduite en termes de limites portant sur une primitive.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Cas d'une fonction définie sur un intervalle et continue sur cet intervalle sauf éventuellement en un nombre fini de points.</p> <p>Propriétés des intégrales convergentes : linéarité, relation de Chasles, positivité, croissance.</p> <p>Adaptation de l'intégration par parties aux intégrales impropres.</p> <p>Adaptation de la formule de changement de variable pour les intégrales impropres.</p> <p>Cas des fonctions paires ou impaires.</p> <p>Théorème de convergence par comparaison pour deux fonctions positives f et g telles que $f \leq g$.</p> <p>Convergence absolue d'une intégrale généralisée.</p> <p>L'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2/2} dx$ converge et vaut $\sqrt{2\pi}$.</p>	<p>Cas particulier d'une fonction prolongeable par continuité en un point.</p> <p>On souligne la nécessité de confirmer la convergence de tous les termes apparaissant dans une telle formule.</p> <p>Si la fonction φ est de classe \mathcal{C}^1 et strictement monotone sur un intervalle d'extrémités a et b ayant des limites $\alpha = \lim_a \varphi$ et $\beta = \lim_b \varphi$ et si f est continue sur l'intervalle d'extrémités α et β, alors les intégrales $\int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx$ et $\int_a^b f(\varphi(t))\varphi'(t) dt$ convergent ou divergent simultanément, et ont la même valeur lorsqu'elles convergent.</p> <p>Tout autre critère de convergence (équivalents, etc.) est hors programme.</p> <p>La convergence absolue est présentée comme une condition suffisante pour obtenir la convergence de l'intégrale.</p> <p>Les intégrales semi-convergentes sont hors programme.</p> <p>La valeur de cette intégrale est un résultat admis.</p>
<p>b) Variables aléatoires admettant une densité</p> <p>On dit qu'une variable aléatoire réelle X est à densité s'il existe une fonction f positive, continue sauf éventuellement en un nombre fini de points telle que pour tout $x \in \mathbf{R}$:</p> $F_X(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt.$ <p>X admet une densité si, et seulement si sa fonction de répartition F_X est continue sur \mathbf{R} et de classe \mathcal{C}^1 sauf éventuellement en un nombre fini de points.</p> <p>Exemples de recherche de la loi du minimum et du maximum de deux ou de n variables aléatoires indépendantes.</p> <p>Si une fonction f est définie sur \mathbf{R}, positive, continue sauf éventuellement en un nombre fini de points et si $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$ converge et vaut 1 alors il existe une variable aléatoire X dont f est une densité.</p> <p>Espérance. Propriétés.</p> <p>Théorème de transfert.</p> <p>Inégalité de Markov.</p> <p>Variance, écart-type, moments. Propriétés.</p>	<p>Une telle fonction, qui n'est pas unique, est appelée densité de X.</p> <p>On peut alors exprimer la probabilité d'un événement du type $P(X \in I)$ (I étant un intervalle) au moyen d'une intégrale.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Dans ce contexte, donner la loi d'une variable aléatoire X, c'est justifier que X admet une densité et en donner une.</p> <p>Sur des exemples simples, recherche de la loi de $u(X)$, X ayant une densité donnée.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Une telle fonction est dite densité de probabilité sur \mathbf{R}.</p> <p>La linéarité de l'espérance est admise.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Reprise rapide des définitions et propriétés vues dans le chapitre Probabilités 3.</p>
<p>c) Lois usuelles</p> <p>Loi uniforme : densité, fonction de répartition, espérance, variance.</p>	<p>\Leftrightarrow La loi uniforme sur $[a, b]$ modélise le choix au hasard d'un réel entre a et b; les fonctions de « nombre au hasard » incluses dans les calculatrices et langages de programmation permettent de simuler la loi uniforme; ces questions sont présentées en lien avec l'enseignement d'informatique.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Loi exponentielle : densité, fonction de répartition, espérance, variance.</p> <p>Loi normale (ou gaussienne) centrée et réduite : densité, espérance et variance.</p> <p>Loi normale de paramètres μ et σ^2 : densité, espérance et variance. Si X suit une loi normale, alors $aX + b$ aussi si $a \neq 0$.</p>	<p>\Leftrightarrow On met en valeur la propriété d'invariance temporelle : $P(X \geq s + t X \geq s) = P(X \geq t)$ et on donne quelques exemples d'expériences donnant du sens à cette propriété.</p> <p>\Leftrightarrow La loi exponentielle peut être simulée à partir d'une simulation de la loi uniforme sur $]0, 1[$.</p> <p>On obtient les valeurs de la fonction de répartition (notée Φ) et de sa réciproque (dite fonction des quantiles et notée $\alpha \mapsto u_\alpha$) au moyen de la calculatrice ou d'une bibliothèque associée à un langage de programmation.</p> <p>\Leftrightarrow On peut utiliser la fonction des quantiles et une simulation d'une loi uniforme sur $[0, 1]$ pour simuler une loi normale.</p> <p>Pour une variable de loi $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$, on se ramènera le plus souvent à la variable centrée réduite associée.</p>
<p>d) Sommes de variables aléatoires à densité indépendantes</p> <p>Loi de la somme de deux variables indépendantes à densité.</p> <p>Somme de deux variables aléatoires normales indépendantes.</p>	<p>Le résultat est admis.</p> <p>La formule du produit de convolution devra être rappelée en cas de besoin.</p> <p>Le calcul montrant la normalité de la somme n'est pas un attendu du programme.</p> <p>On généralise le résultat au cas de n variables gaussiennes indépendantes.</p> <p>\Leftrightarrow Application à la modélisation des erreurs dans les processus de mesure.</p>

Exemples de capacités : justifier le fait qu'une variable aléatoire admet une densité ; calculer une espérance et une variance ; appliquer la formule du produit de convolution.

Algèbre linéaire 4 – Applications linéaires et matrices

Le passage aux espaces vectoriels quelconques pousse à redéfinir les notions liées aux applications linéaires. Il convient de faire cette adaptation avec une certaine brièveté afin de garder tout le temps requis pour traiter des exemples.

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

Contenus	Commentaires
<p>a) Applications linéaires</p> <p>Application linéaire, endomorphisme, isomorphisme. Espaces isomorphes.</p> <p>Opérations sur les applications linéaires : addition, multiplication par un scalaire, composition, réciproque. Propriétés de ces opérations.</p> <p>Noyau. Lien avec l'injectivité.</p> <p>Image. Lien avec la surjectivité.</p>	<p>On introduit les notations $\mathcal{L}(E, F)$ et $\mathcal{L}(E)$, mais leur étude n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Notation f^n pour $n \geq 0$.</p> <p>On montre que le noyau est un sous-espace vectoriel de l'espace de départ.</p> <p>On montre que l'image est un sous-espace vectoriel de l'espace d'arrivée.</p>
<p>b) Cas de la dimension finie</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Détermination d'une application linéaire par l'image d'une base.</p> <p>Une application linéaire est un isomorphisme si, et seulement si, l'image d'une base est une base.</p> <p>Rang d'une application linéaire.</p> <p>Théorème du rang.</p> <p>Pour une application linéaire entre deux espaces de même dimension (finie), il y a équivalence entre l'injectivité, la surjectivité et la bijectivité.</p>	<p>Tout espace de dimension n est isomorphe à K^n.</p> <p>Résultat admis.</p>
<p>c) Matrices et applications linéaires</p> <p>Matrice d'une application linéaire d'un espace vectoriel de dimension finie dans un espace vectoriel de dimension finie, une base ayant été choisie dans chacun d'eux.</p> <p>Matrice de la somme de deux applications linéaires, du produit par un scalaire d'une application linéaire, de la composée de deux applications linéaires, de l'application réciproque.</p> <p>Interprétation d'une matrice comme application linéaire de K^p dans K^n.</p>	<p>On montre qu'un endomorphisme est bijectif si, et seulement si, sa matrice, dans une base quelconque, est inversible, et qu'il suffit pour cela de disposer d'une matrice inverse à gauche ou à droite.</p> <p>Cette interprétation permet de parler d'image, noyau et de rang de la matrice en lien avec les mêmes notions pour les applications linéaires.</p>
<p>d) Changement de base</p> <p>Changement de base. Matrice de passage.</p> <p>Action d'un changement de base sur les coordonnées d'un vecteur.</p> <p>Action d'un changement de base sur la matrice d'un endomorphisme.</p> <p>Matrices semblables.</p>	<p>\Leftrightarrow On souligne le lien avec l'usage des référentiels en Physique, tout en notant que les changements de référentiels ne se limitent pas à des changements de base.</p> <p>On met en valeur l'intérêt des matrices semblables pour le calcul des puissances.</p>

Exemples de capacités : obtenir la matrice d'une application linéaire dans des bases données ; déterminer un noyau et une image ; opérer un changement de bases ; démontrer que deux matrices sont semblables.

Probabilités 5 – Variables aléatoires réelles discrètes

L'ensemble de ce chapitre donne l'occasion de revoir, par le biais d'exercices, les lois de probabilités finies présentées dans le programme de première année (Probabilités 2).

Contenus	Commentaires
<p>a) Variables aléatoires réelles discrètes</p> <p>Une variable aléatoire réelle est dite discrète si l'ensemble $X(\Omega)$ de ses valeurs est indexé par une partie de \mathbf{N}.</p> <p>Loi de probabilité et fonction de répartition d'une variable aléatoire discrète.</p> <p>Espérance. Propriétés.</p> <p>Théorème de transfert.</p> <p>Inégalité de Markov.</p> <p>Variance, écart-type, moments. Propriétés.</p>	<p>On met en valeur le système complet formé des événements $(X = x)$ pour $x \in X(\Omega)$.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Reprise rapide des définitions et propriétés vues dans le chapitre Probabilités 3.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
b) Lois usuelles discrètes Loi de Poisson. Espérance, variance. Approximation dans certains cas d'une loi binomiale par une loi de Poisson. Loi géométrique. Espérance et variance.	On illustrera cette approximation à l'aide d'histogrammes. On présente la loi géométrique comme loi du nombre d'épreuves nécessaires pour obtenir le premier succès dans une suite illimitée d'épreuves de Bernoulli indépendantes et de même paramètre. \Rightarrow Propriété d'invariance temporelle de la loi géométrique. Exemples de situations expérimentales modélisées par une loi géométrique.

Exemples de capacités : modéliser une expérience aléatoire au moyen d'une variable aléatoire ; calculer une espérance ; calculer une variance.

Probabilités 6 – Couples de variables aléatoires discrètes

Ce chapitre permet, par le maniement de sommes de séries, d'avoir une approche assez complète des phénomènes liés aux couples de variables aléatoires : lois conjointes, lois marginales, indépendance.

Le programme se limite aux situations faisant intervenir des couples de variables aléatoires à valeurs positives et des séries doubles à termes positifs.

Contenus	Commentaires
a) Séries doubles à termes positifs Notion de suite double (indexée par $\mathbf{N} \times \mathbf{N}$). Pour toute suite double $(u_{n,p})$ de réels positifs ou nuls, on a $\sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{p=0}^{+\infty} u_{n,p} = \sum_{p=0}^{+\infty} \sum_{n=0}^{+\infty} u_{n,p}$ dès que l'une des deux expressions est constituée de séries convergentes.	Résultat admis. La justification de la convergence se fait au cours du calcul de la somme double.
b) Couples de variables aléatoires discrètes Couple (X, Y) de deux variables aléatoires discrètes positives. Loi conjointe. Lois marginales. Lois conditionnelles. Théorème de transfert : espérance de $u(X, Y)$ pour une fonction u positive. Covariance. Variance de $X + Y$. Deux variables discrètes X et Y sont indépendantes si, et seulement si, pour tout $(x, y) \in X(\Omega) \times Y(\Omega)$, on a $P(X = x, Y = y) = P(X = x)P(Y = y)$. Propriétés de l'indépendance : pour deux variables discrètes X et Y indépendantes, on a $E(XY) = E(X)E(Y)$ et $V(X + Y) = V(X) + V(Y)$. Sur des exemples simples, recherche de la loi de $u(X, Y)$, le couple (X, Y) ayant une loi conjointe connue. Cas particulier de la somme de deux variables discrètes à valeurs dans \mathbf{N} . Loi de la somme de deux variables indépendantes suivant des lois de Poisson.	L'évènement $((X = x) \cap (Y = y))$ est également noté $(X = x, Y = y)$. Résultat admis. Justification de $E(X + Y) = E(X) + E(Y)$. Résultat admis. Loi conjointe de deux variables discrètes indépendantes. On remarque que $\text{Cov}(X, Y) = 0$. On s'intéressera en particulier au maximum et au minimum de 2 ou de n variables aléatoires indépendantes. Les deux variables ne sont pas nécessairement indépendantes. Généralisation au cas de n variables.

Exemples de capacités : trouver les lois marginales ; démontrer que deux variables sont indépendantes.

Algèbre linéaire 5 – Valeurs propres, vecteurs propres

Contenus	Commentaires
<p>a) Éléments propres Valeurs propres, vecteurs propres, sous-espaces propres d'un endomorphisme. Valeurs propres, vecteurs propres, sous-espaces propres d'une matrice carrée.</p> <p>Les valeurs propres d'une matrice triangulaire sont les éléments diagonaux de cette matrice.</p>	<p>On appelle spectre de l'endomorphisme f (respectivement de la matrice A), l'ensemble des valeurs propres de f (respectivement de A). En dimension finie, on fait le lien entre les éléments propres d'un endomorphisme et ceux d'une matrice qui le représente dans une base.</p>
<p>b) Diagonalisation Une famille finie de vecteurs propres associés à des valeurs propres distinctes est libre. Une famille finie obtenue par juxtaposition de bases de sous-espaces propres associés à des valeurs propres distinctes est libre. En dimension finie, endomorphisme diagonalisable. Matrice diagonalisable. Un endomorphisme en dimension n ou une matrice carrée $n \times n$ est diagonalisable si, et seulement si, la somme des dimensions des sous-espaces propres est égale à n. Un endomorphisme en dimension n ou une matrice carrée $n \times n$ ayant n valeurs propres distinctes est diagonalisable. Calcul des puissances d'une matrice diagonalisable.</p>	<p>Un endomorphisme en dimension n ou une matrice carrée $n \times n$ admet au plus n valeurs propres distinctes et la somme des dimensions des sous-espaces propres est inférieure ou égale à n.</p> <p>On fait observer que les sous-espaces propres sont de dimension 1.</p>

Exemples de capacités : diagonaliser une matrice ; calculer les puissances d'une matrice diagonalisable (avec ou sans moyens de calcul).

Révisions 9 – Géométrie

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Géométrie 1).

Géométrie 2 – Produit scalaire dans \mathbf{R}^n

Ce chapitre propose une extension modeste des notions de géométrie euclidienne à l'espace euclidien de dimension n , avec la mise en place de deux résultats fondamentaux pour les applications : la projection orthogonale sur un sous-espace d'une part et la diagonalisation des matrices symétriques d'autre part.

Dans ce chapitre, les mots « vecteur » et « point » peuvent être considérés comme interchangeables.

Contenus	Commentaires
<p>a) Produit scalaire dans \mathbf{R}^n Produit scalaire usuel dans \mathbf{R}^n. Écriture matricielle. Bilinéarité.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Norme euclidienne. Inégalité de Cauchy-Schwarz et inégalité triangulaire. Vecteurs orthogonaux.</p> <p>Théorème de Pythagore. Bases orthonormales de l'espace \mathbf{R}^n ou d'un sous-espace de \mathbf{R}^n.</p> <p>Toute matrice carrée symétrique réelle est diagonalisable dans une base orthonormale de vecteurs propres.</p>	<p>La discussion des cas d'égalité n'est pas un objectif du programme. L'orthogonalité d'une famille de vecteurs non nuls entraîne sa liberté.</p> <p>On souligne le fait que le produit scalaire et la norme se calculent de la même manière dans toutes les bases orthonormales. On réinterprète la définition en termes de matrice de passage P de la base canonique à une base orthonormale (relation ${}^tPP = I_n$). Les algorithmes d'orthonormalisation ne sont pas au programme.</p> <p>Il s'agit de l'énoncé suivant (qui est admis) : si A est une matrice symétrique réelle il existe une matrice D diagonale et une matrice P inversible telles que $A = PDP^{-1}$ avec $P^{-1} = {}^tP$.</p>
<p>b) Projection orthogonale Distance entre deux vecteurs (ou points). Définition de la distance d'un vecteur (ou point) à une partie non vide.</p> <p>On appelle projection orthogonale sur un sous-espace F de \mathbf{R}^n un endomorphisme p de \mathbf{R}^n tel que : pour tout $x \in \mathbf{R}^n$, $p(x) \in F$ et pour tout $y \in F$, $p(x) - x$ est orthogonal à y. Existence et unicité de la projection orthogonale p sur un sous-espace F de \mathbf{R}^n.</p> <p>Relation $p \circ p = p$. $\text{Im}(p) = F$. Distance d'un vecteur (ou point) à un sous-espace de \mathbf{R}^n.</p>	<p>Cette notion peut être interprétée en tant que démarche d'optimisation voire de meilleure approximation.</p> <p>On rappelle que les notions générales de sommes de sous-espaces vectoriels et de projections ne sont pas au programme.</p> <p>On admet qu'il existe une base orthonormale du sous-espace F. Écriture de la projection orthogonale dans une base orthonormale de F. On remarque que $\text{Ker}(p)$ est l'ensemble des vecteurs orthogonaux aux vecteurs de F. Interprétation de l'ajustement affine par la méthode des moindres carrés en termes de projection sur un sous-espace de dimension 2.</p>

Exemples de capacités : calculer une projection orthogonale, une plus courte distance.

Révisions 10 – Fonctions de deux variables

Exercices et situations illustrant le programme de première année (Analyse 11).

Statistique 2 – Théorèmes limites et statistique inférentielle

L'objectif de ce chapitre est d'initier les étudiants au vocabulaire et à la démarche de la statistique inférentielle sur quelques cas simples, en leur présentant le problème de l'estimation par intervalle et du test de conformité. Il ne doit en aucun cas faire l'objet d'un développement théorique. On pourra illustrer par des exemples pris dans la vie courante et dans les autres disciplines.

Contenus	Commentaires
<p>a) Vocabulaire de l'échantillonnage et de l'estimation X étant une variable aléatoire d'espérance μ et de variance σ^2, un n-échantillon de X est un n-uplet (X_1, X_2, \dots, X_n) de variables aléatoires indépendantes et de même loi que X.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Un estimateur d'un paramètre (μ ou σ^2) est une suite (T_n) de variables aléatoires, chaque T_n est une fonction de (X_1, X_2, \dots, X_n) donnant de l'information sur le paramètre choisi.</p> <p>On définit l'erreur d'estimation comme la différence entre l'estimateur et la valeur du paramètre, et le biais comme l'espérance de l'erreur d'estimation.</p> <ul style="list-style-type: none"> La moyenne empirique, notée M_n et définie par $M_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, est un estimateur de μ. La variance empirique, notée S_n^2, et définie par $S_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_n)^2 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - M_n^2,$ est un estimateur de σ^2. 	<p>La valeur de T_n obtenue à partir d'un échantillon observé est l'estimation du paramètre. Aucun développement ne sera fait sur les estimateurs et on se limitera aux deux estimateurs cités ci-dessous.</p> <p>La variable M_n est souvent notée \bar{X}_n. On remarque que M_n est un estimateur sans biais de μ et que la variance de l'erreur d'estimation $M_n - \mu$, qui vaut $\frac{\sigma^2}{n}$, tend vers 0. On remarque que le biais de S_n^2 tend vers 0. L'usage de l'estimateur corrigé de la variance $S_n'^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M_n)^2$, parfois employé dans les applications, n'est pas un objectif du programme.</p>
<p>b) Théorèmes limites</p> <p>Inégalité de Bienaymé–Tchebychev. Loi faible des grands nombres. Théorème central limite (première forme) : Étant donnée une suite de variables aléatoires indépendantes $(X_n)_{n \geq 1}$ de même loi, admettant une espérance μ et une variance σ^2 non nulle, alors, pour tous réels a, b tels que $a < b$, on a :</p> $P(a < M_n^* < b) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-t^2/2} dt.$ <p>Cas de la loi binomiale : théorème de de Moivre–Laplace. Théorème central limite (seconde forme) : Étant donnée une suite de variables aléatoires indépendantes $(X_n)_{n \geq 1}$ de même loi, admettant une espérance μ et une variance, alors, pour tous réels a, b tels que $a < b$, on a :</p> $P\left(a < \frac{M_n - \mu}{\frac{S_n}{\sqrt{n}}} < b\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-t^2/2} dt,$ <p>S_n désignant l'écart-type empirique.</p>	<p>Théorème admis. On obtient ainsi une approximation asymptotique de la loi de l'erreur d'estimation réduite $\varepsilon(M_n) = M_n^* = \frac{M_n - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$. \Rightarrow Illustration numérique de cette convergence à l'aide de tirages répétés d'une loi uniforme ou exponentielle.</p> <p>Théorème admis. Cette version est utilisée lorsqu'on ne connaît pas σ^2.</p>
<p>c) Applications statistiques</p> <p>Intervalle de confiance :</p> $P\left(\left[M_n - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S_n}{\sqrt{n}} < \mu < M_n + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S_n}{\sqrt{n}}\right]\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 1 - \alpha$ <p>où $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ est le quantile d'ordre $1 - \frac{\alpha}{2}$ de la loi $\mathcal{N}(0; 1)$.</p> <p>Test de conformité sur la moyenne : pour tester l'hypothèse (H_0) : $\mu = \mu_0$, on utilise que</p> $P\left(\left \frac{M_n - \mu_0}{\frac{S_n}{\sqrt{n}}}\right > u_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \alpha$	<p>Ce résultat est une conséquence directe de la seconde forme du théorème central limite. On en déduit une fourchette d'estimation du paramètre μ, appelé aussi intervalle de confiance de niveau de confiance $1 - \alpha$.</p> <p>Ce résultat est une conséquence directe de la seconde forme du théorème central limite. On rejette l'hypothèse si la valeur observée de $\frac{M_n - \mu_0}{\frac{S_n}{\sqrt{n}}}$ est en dehors de l'intervalle $[-u_{1-\frac{\alpha}{2}}, u_{1-\frac{\alpha}{2}}]$.</p>

Exemples de capacités : trouver un intervalle de confiance de la moyenne ; faire un test de conformité sur la moyenne.