



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 de biotechnologies et aux programmes de seconde année de mathématiques et de physique-chimie de la classe préparatoire scientifique technologie et biologie (TB)

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 14 mai 1984 modifié, fixant le programme des classes de technologie et mathématiques supérieures et technologie et mathématiques spéciales TB' ;

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 et de biotechnologies de la classe préparatoire scientifique technologie et biologie (TB), figurant en annexe de l'arrêté du 14 mai 1984 modifié susvisé, sont remplacés par ceux figurant à l'annexe 1 du présent arrêté.

Article 2

Les programmes de seconde année de mathématiques et de sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées de la classe préparatoire scientifique technologie et biologie (TB), figurant en annexe de l'arrêté du 14 mai 1984 modifié susvisé, sont remplacés par les programmes figurant respectivement aux annexes 2 et 3 du présent arrêté.

Article 3

Les programmes de première année du présent arrêté entrent 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

INTRODUCTION

La mise en œuvre des programmes de Biotechnologies et de sciences de la vie et de la Terre doit permettre aux futurs ingénieurs et vétérinaires de se constituer une culture scientifique de base dans le domaine des sciences du vivant, construite sur les grands concepts et modèles, opérationnelle et transférable pour interroger et comprendre les situations auxquelles ils seront confrontés.

Contenus

Les programmes de SVT et Biotechnologies définissent des contenus (connaissances, faits, modèles, concepts...), qui constituent une base cognitive indispensable à l'organisation du savoir. Ces éléments doivent pouvoir être exposés de façon concise, en particulier dans le cadre d'exercices de synthèse. Ils servent aussi de référence pour mener une réflexion scientifique rigoureuse dans le cadre de problématiques non directement abordées dans le programme.

En SVT, le programme s'articule autour de grands concepts fédérateurs qui peuvent être développés par différents items. Il en va ainsi, par exemple, de l'évolution et sa relation avec la biodiversité, de la relation génotype/phénotype, des relations entre structures-propriétés-milieus-fonctions (à différentes échelles d'études), les liens entre la vie et la planète plante, etc. 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, de poser par eux-mêmes un certain nombre de problématiques et de mettre en perspective leurs réflexions.

En Biotechnologies, les études combinent approches scientifiques fondamentales et activités technologiques notamment en laboratoire. Elles permettent l'acquisition de grands concepts scientifiques (interactions moléculaires, flux de matière et d'énergie dans le vivant, relations structure-fonction, méthodologies valorisant le potentiel des biomolécules et des organismes vivants, ...). Elles permettent de confronter les étudiants à des mises en situation pouvant être réinvesties dans leurs études ultérieures. C'est pourquoi les formulations du programme présentent non seulement les objectifs des études mais également les compétences associées aux activités mises en œuvre.

A la fois en SVT et en Biotechnologies, ces contenus doivent être argumentés. Toutefois, si une certaine richesse d'argumentation se justifie dans le cadre de l'enseignement, il importe de limiter la mémorisation de raisonnements à ce qui est nécessaire à la présentation d'une démarche, de développements, de synthèse, valides. Ceci amène à définir deux niveaux d'exigibilité :

- un premier niveau : éclairer un concept, un modèle, en s'appuyant sur l'exposé d'UN exemple-argument, nécessaire à l'exercice de synthèse ;
- un deuxième niveau : construire l'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 nécessité de réinvestissement est au cœur de l'approche par compétences, 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. En effet,*

une telle réflexion 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.

Présentation des programmes

Les programmes sont présentés en trois colonnes.

La colonne de gauche comprend l'énoncé des objectifs de connaissances ; elle ne constitue pas un « résumé » des contenus attendus mais exprime les éléments centraux de chaque unité ainsi que l'esprit dans lequel est orientée leur étude.

La colonne du milieu comprend, quant à elle, plusieurs types d'informations destinées à préciser ces attendus.

Est exprimé, par un verbe, ce que l'on attend que les étudiants sachent faire : présenter ou exposer des concepts, argumenter, analyser des éléments, mettre en relation... Ces précisions sont destinées à fixer plus clairement ce que l'on attend comme mémorisation de connaissances (au premier ordre) et 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.

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, 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 ne sont pas limitatives.

Enfin la dernière colonne précise le semestre pendant lequel ces notions sont abordées.

Compétences attendues :

L'expression large des compétences déclinées dans les programmes de SVT et de Biotechnologies correspond à une attente de formation des étudiants couvrant la totalité du spectre des écoles recrutant sur la filière.

Les compétences 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 et des lieux.

Les compétences figurant dans les programmes peuvent être mises en relation avec **les compétences intellectuelles ou cognitives dans le champ scientifique (sciences du vivant, sciences de la Terre) et qui relèvent de la capacité à recueillir, à exploiter, à analyser et à traiter l'information :**

1- Construire une argumentation scientifique en articulant différentes références

- connaissances scientifiques relevant du champ disciplinaire (et dans certains cas d'autres disciplines), maîtrise des concepts associés ;
- capacité à structurer un raisonnement : maîtrise des relations de causalité ;
- capacité à construire une démonstration à partir d'une progression logique :
 - identifier la question dans le contexte posé ;
 - analyser, hiérarchiser ;
 - intégrer différents paramètres, articuler, mettre en perspective.
- capacité à construire une argumentation écrite et/ou orale : maîtrise des techniques de communication (synthèse, structure, clarté de l'expression) ;
- apport d'un regard critique.

2-Résoudre un problème complexe

- capacité à conduire un raisonnement scientifique sur un objet défini :
 - identifier le problème posé dans son environnement technique, scientifique, culturel ;
 - identifier le problème sous ses différents aspects ;
 - mobiliser les connaissances scientifiques pertinentes pour résoudre le problème ;
 - maîtriser la méthode exploratoire, le raisonnement itératif ;
 - maîtriser la démarche de diagnostic.

3-Conduire ou analyser une expérimentation

- capacité à observer et à mettre en relation des éléments ;
- capacité de déduction ;
- capacité d'investigation.

4-Conduire une démarche « diagnostic »

- capacité à recueillir des informations ;
- capacité à observer et à explorer ;
- capacité à analyser et à hiérarchiser ;
- capacité à organiser et à proposer une démarche diagnostic ;
- capacité à présenter la démarche.

Les compétences en communication écrite et orale

- capacité à organiser une production écrite en fonction du contexte :
 - traitement de l'information dans une perspective de communication ;
 - structuration du propos, cohérence, logique, clarté de l'expression, maîtrise de la syntaxe.
- capacité à construire un argumentaire ;
- capacité à structurer une communication orale ;
- capacité à convaincre ;
- capacité à s'adapter au contexte de la communication.

sont constamment mobilisées que ce soit lors de présentation de travaux, de résultats, ou de réalisation de synthèses...

Les compétences réflexives qui mobilisent le recul critique, l'autonomie de réflexion, la créativité :

- capacité à identifier les différentes approches et concepts dans le traitement d'une question ;
- capacité à se situer et à développer une pensée autonome et à l'argumenter ;
- capacité à initier des perspectives nouvelles (curiosité, exploration, ouverture d'esprit).

sont particulièrement mises en œuvre en TIPE, même si certaines activités techniques et expérimentales des programmes peuvent, dans d'autres contextes, amener à les exercer.

PROGRAMME de SCIENCES de la VIE et de la TERRE

Le programme de biologie et de géologie croise deux approches scalaires, l'une d'espace et l'autre de temps.

BIOLOGIE

En ce qui concerne les différences échelles spatiales (celles de la cellule, de l'organisme, de la population et de l'écosystème), 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. Les relations entre les structures, leurs propriétés, leur milieu, leur fonction sont au cœur des problématiques abordées.

Les différentes échelles de temps correspondent :

- au temps court, celui du contrôle et de la régulation du métabolisme et de l'expression génétique ;
- aux temps intermédiaires de l'individu (ontogenèse), de la transmission de l'information génétique entre générations et de la dynamique populationnelle ;
- au temps long de l'évolution.

Elle permet d'aborder entre autres 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.

La première année associe essentiellement l'échelle cellulaire (1.1, 1.2, 1.3, 1.5) et celle de l'organisme (2.1, 2.2, 2.4) et la transition avec celle des populations (3.1, 3.2) dont l'entretien et la variabilité est envisagée à travers la reproduction sexuée et asexuée. Sur la base des exemples rencontrés, la classification se construit (5.2), amenant ainsi une première synthèse sur la dimension évolutive.

En deuxième année, l'aspect métabolique (1.4) est abordé. Le développement des organismes animaux et végétaux est étudié (3.3, 3.4) ainsi que le fonctionnement des organismes en relation avec les variations d'activité et d'environnement (2.3, 2.4). Les relations entre êtres vivants sont envisagés jusqu'à l'échelle écosystémique (4) ou jusqu'au temps de l'évolution (5.1)

Cette répartition permet une construction progressive et ordonnée des concepts, et facilite leur mise en relation en amenant, en seconde année, à revenir pour les intégrer sur certains acquis fondamentaux de première année.

1. Organisation fonctionnelle de la cellule eucaryote

L'unité fonctionnelle de la cellule se construit au travers d'une présentation générale (§1.1) et de l'étude de nombreuses cellules rencontrées au fil des chapitres. Elle s'appuie sur les connaissances acquises par les étudiants en biotechnologies sur les principales biomolécules constituant la cellule.

Il s'agit de montrer l'unité des principes de fonctionnement des cellules eucaryotes mais aussi l'existence de spécialisations cellulaires. Celles-ci reposent sur des différenciations mettant en jeu une modulation de l'expression de l'information génétique (§1.3). Ces spécialisations contribuent au fonctionnement global de l'organisme pluricellulaire, siège d'une division du travail.

L'étude des membranes en tant que surfaces d'échanges avec le milieu environnant est abordée (§ 1.2) en particulier dans cette optique.

La cellule constitue une unité thermodynamique ouverte capable de produire ses propres constituants grâce à un apport de matière première et d'énergie. Un focus, réalisé à travers l'exemple de la biosynthèse protéique, permet d'ancrer cette approche, et se relie de plus à l'expression de l'information génétique (§ 1.3) et son contrôle.

L'aspect métabolique des synthèses est l'occasion de faire un lien avec l'enseignement de biotechnologies, entre autres à travers l'exemple de la cellule musculaire striée squelettique (§ 1.4).

Enfin, la cellule est replacée dans un contexte temporel permettant de montrer sa multiplication, étape essentielle au maintien de l'intégrité des organismes mais aussi à la reproduction asexuée (§ 3.1).

2. L'organisme, un système en interaction avec son environnement

Cette partie s'appuie sur quatre volets :

- Dans le premier volet, l'objectif est d'appréhender les relations qui existent entre les différentes fonctions qui interagissent au sein d'un organisme. L'exemple proposé, une espèce ruminante, permet à partir d'une littérature très abondante d'aborder les relations inter et intra spécifiques, et la place de cette espèce dans les bilans de fonctionnement des écosystèmes. Cet exemple permet aisément d'appréhender les interactions entre objectifs sociétaux (agronomie, et technologie) et études scientifiques. Traité à l'échelle de l'organisme (appareil organe).
- Dans le deuxième volet, l'étude d'une fonction permet de préciser, en reliant différentes échelles d'études, les mécanismes qui permettent la réalisation d'une fonction ainsi qu'une étude des relations entre organisation, fonction et milieu : la fonction étudiée est la respiration dans le règne animal. Cette partie permet aussi d'évoquer la diversité des plans d'organisation animale et fait donc un lien évident avec la partie 4.
- Dans le troisième volet, le contrôle du débit sanguin a comme objectif de développer un exemple d'interrelations entre plusieurs systèmes de contrôle et de régulation au sein de l'organisme et de montrer comment l'intégration des diverses réactions conduit à l'adaptation physiologique liées aux variations d'activité de l'organisme ou bien aux variations de milieu.
- Dans le quatrième volet, ce sont les Angiospermes qui servent de support à l'étude d'un mode de vie particulier : la vie fixée. Afin de montrer un parallélisme avec le règne animal, la fonction d'échange sera aussi abordée chez les Angiospermes, à différentes échelles : à l'échelle de l'organisme avec la nutrition hydrominérale des plantes et à l'échelle de la cellule et de la molécule avec le mécanisme de photosynthèse vu en Biotechnologies. Cette échelle permettra un lien avec le métabolisme abordé en biotechnologies. Enfin, la vie fixée sera également envisagée non plus à l'échelle de l'instant mais à l'échelle des saisons avec les cycles de développement des végétaux angiospermes.

3. Reproduction des individus et pérennité des populations

L'étude des populations animales et végétales permet d'appréhender l'écosystème comme un ensemble d'interactions intra- et interspécifiques. La pérennité des populations repose tout d'abord sur la capacité des êtres vivants à se reproduire (3.1) mais aussi à se développer (3.3 et 3.4). La diversité des individus qui s'ensuit résulte des modalités de la reproduction (3.2).

4. Biologie des écosystèmes

Cette partie permet de comprendre les flux d'énergie et de matière à travers un écosystème.

5. Biologie évolutive

Cette partie vise à expliquer les mécanismes qui agissent sur la dynamique de la biodiversité, constatée à plusieurs échelles dans les blocs précédents.

En première année, la biodiversité est constatée à différentes échelles. En se fondant sur le paradigme évolutif, la classification phylogénétique permet de structurer la représentation de la biodiversité des espèces.

La seconde année met l'accent sur les aspects dynamiques, sur des durées moyennes à longues.

L'analyse de cette dynamique entre stabilité et évolution, conduit à aborder différents niveaux d'explication, de la variabilité moléculaire aux mécanismes de l'évolution.

SCIENCES de la TERRE

6. Géodynamique externe

En sciences de la Terre, le programme se concentre essentiellement sur des phénomènes superficiels associés à la géodynamique externe, en liaison étroite avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. En ceci, il se relie facilement à certains éléments du programme de sciences de la vie.

La dimension concrète des géosciences implique que l'on manipule des objets réels, à différentes échelles allant de l'échantillon au paysage. Une sortie sur le terrain est donc obligatoire. Parmi les outils utilisés en géosciences, les cartes se situent au centre de la réflexion, les cartes géologiques bien sûr, mais aussi toutes les cartes plus spécifiques (topographiques, pédologiques, hydrologiques, ...) 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...). Le va et vient entre objets réels et carte est réalisé chaque fois que nécessaire.

En première année, l'altération et l'érosion des roches est reliée à la formation des sols, mettant ainsi l'accent sur les éléments résiduels, leur origine, leur évolution ainsi que la relation avec le vivant, abordé dans les enseignements des sciences de la vie comme en biotechnologie.

En seconde année, l'étude du processus sédimentaire permet d'aborder le devenir des éléments entraînés. Le cycle du carbone permet enfin une approche synthétique, intégrant pleinement, de façon scientifiquement raisonnée et critique, l'action de l'Homme. La question des ressources permet d'ouvrir la géologie et ses apports sur d'autres sphères, en particulier économique et complète ainsi une approche des grands enjeux contemporains concernés par les géosciences.

En première année sont traités :

- au premier semestre, les parties 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 3.2.
- au second semestre, les parties 1.3, 1.5, 2.2, 2.4.1, 5.2 et 6.1.

En seconde année sont traités :

- au premier semestre, les parties 1.4, 2.3, 3.3, 4.1, 4.2, 6.2, 6.3, 6.4
- au second semestre, les parties 2.4.2, 3.4, 5.1

1 – Organisation fonctionnelle de la cellule eucaryote

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
<p>1.1 Les cellules, des unités structurales et fonctionnelles</p> <p>La cellule eubactérienne contient un chromosome unique circulaire et des plasmides. Elle est délimitée par une membrane et une matrice extra-cellulaire (paroi). Son cytoplasme n'est pas compartimenté. La cellule assure toutes les fonctions.</p> <p>Les cellules eucaryotes contiennent une information génétique nucléaire et cytoplasmique. Les chromosomes nucléaires, linéaires, sont une association entre ADN et protéines : la chromatine. Le génome des eucaryotes comprend une part variable de séquences non codantes selon les espèces.</p> <p>La cellule eucaryote est compartimentée et structurée par le cytosquelette.</p> <p>La cellule est traversée par des flux de matière, d'énergie et d'information. Une partie de ces flux passe par la membrane cellulaire ou les systèmes membranaires internes.</p> <p>Les cellules animales et végétales présentent à la fois des similitudes et des différences.</p>	<p>Ce chapitre a pour but de caractériser les cellules eucaryotes des organismes pluricellulaires, de montrer leur spécialisation et leur fonctionnement intégré. La comparaison avec la cellule eubactérienne souligne les spécificités de l'état eucaryote. Les exemples seront choisis dans les règnes animal et végétal, en lien avec les chapitres de biologie des organismes. A partir d'un nombre réduit d'exemples, la relation structure-fonction des cellules différenciées est décrite.</p> <p>- décrire l'organisation de la chromatine et mettre en relation les associations ADN/protéines avec ses variations de condensation de la chromatine - distinguer les notions de séquences codantes et non-codantes et appréhender leur importance relative. - établir un lien entre le chromosome bactérien et le génome des organites semi-autonomes. Limite : ces aspects sont présentés sans démonstration expérimentale. Liens : 1.3, 1.5</p> <p>- présenter de façon synthétique la diversité des compartiments en grandes familles structurales et fonctionnelles - mettre en évidence la coopération fonctionnelle entre compartiments - présenter l'organisation des filaments du cytosquelette - présenter le cytosquelette comme un système dynamique Lien : Les différents rôles du cytosquelette seront précisément abordés dans plusieurs autres items du programme.</p> <p>- associer différents processus à des flux traversant les cellules Limite : Les mécanismes associés à ces flux (ex : synthèse protéique, conversion et transfert d'énergie, etc) sont simplement cités ; ils sont développés dans d'autres paragraphes du programme.</p> <p>- comparer une cellule « animale » et une cellule « végétale » - trier et organiser les principales idées extraites de cette comparaison</p>	<p>S1</p>

<p>La présence, l'importance quantitative et la répartition de certains compartiments sont à l'origine de la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules eucaryotes. Cette spécialisation est issue d'un processus de différenciation.</p> <p>Dans un organisme pluricellulaire, un grand nombre de cellules sont associées entre elles et reliées à des matrices extracellulaires. Ces liaisons assurent la cohérence de la plupart des tissus.</p> <p>L'activité de la cellule est intégrée dans le fonctionnement global de l'organisme à travers les échanges spécialisés ou non qu'elle réalise et le contrôle exercé sur son activité.</p>	<p>- caractériser une cellule différenciée, notamment par comparaison avec une cellule souche Liens : 3.3, 3.4 Limite : Le concept est présenté ici à son niveau le plus simple et en s'appuyant sur les connaissances acquises au lycée.</p> <p>- associer l'état pluricellulaire à la spécialisation cellulaire et à la présence de dispositifs d'adhérence - montrer l'universalité de la présence de matrice extracellulaire</p> <p>Liens : 1.2, 1.3, 1.4</p>	
<p>1.2 Membranes et échanges membranaires</p> <p>1.2.1 Organisation et propriétés des membranes cellulaires Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides assemblés en bicouches asymétriques. Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité et de communication de la membrane dépendent de cette organisation.</p> <p>1.2.2. 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>	<p>- 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> <p>- 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> <p>Remarque : Aucun exemple particulier de cellule n'est exigible. Cependant, celui d'une cellule épithéliale est particulièrement propice à la présentation de ces interactions. Limites : Pour les matrices extracellulaires, on se limite à deux exemples : pour les végétaux, la paroi pecto-cellulosique ; pour l'architecture d'une matrice animale, un conjonctif. On ne fait que mentionner les parois bactériennes dont l'architecture n'est pas au programme.</p>	S1

1.2.3. Membranes et échanges

Il existe différentes modalités de flux de matière entre compartiments.

Des transferts de matière sont réalisés entre compartiments par des phénomènes de bourgeonnement ou de fusion de vésicules (dont les phénomènes d'endocytose et d'exocytose). Les mécanismes reposent sur les propriétés des membranes et l'implication de protéines.

L'eau et les solutés peuvent traverser une membrane par transferts passifs, par transport actif primaire ou secondaire. Ces transferts sont régis par des lois thermodynamiques (gradients chimiques ou électrochimiques, sens de transfert). Des modèles de mécanismes moléculaires permettent de rendre compte de ces différents types de flux. Ces échanges ont des fonctions diverses en liaison entre autres, avec la nutrition des cellules, leur métabolisme mais aussi avec des fonctions informationnelles à l'échelle de la cellule ou de l'organisme.

Plus précisément :

- la cinétique des flux transmembranaires peut être linéaire (diffusion simple au travers de la phase lipidique), ou hyperbolique (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.

1.2.4 Membrane et différence de potentiel électrique : potentiel de repos, d'action et transmission synaptique

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

- définir un compartiment

- présenter un exemple de formation d'une vésicule d'endocytose et de fusion d'une vésicule d'exocytose

- présenter de façon cohérente les différentes grilles d'analyse des flux transmembranaires en reliant les aspects dynamiques, thermodynamiques aux modèles moléculaires associés

- présenter ces échanges dans la perspective de leurs fonctions biologiques

- évaluer la liposolubilité d'une espèce chimique par son coefficient de partition huile/eau

- relier une cinétique de passage à une modalité de passage

- évaluer une différence de potentiel électrochimique

- exprimer une différence de potentiel électrochimique sous forme d'une tension transmembranaire (« force ion-motrice »)

- relier l'existence d'un gradient aux aspects énergétiques des transferts

- relier les caractéristiques des protéines, leur localisation et leur fonction dans les échanges

Lien : 1.4

Lien Biotechnologies : 3.1.2

- 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

<p>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.</p> <p>Dans les neurones, l'influx nerveux se propage de façon régénérative le long de l'axone. Le diamètre des fibres affecte leur conductivité et donc la vitesse des influx, de même que la gaine de myéline.</p> <p>La synapse permet la transmission d'information d'une cellule excitable à une autre en provoquant une variation de potentiel transmembranaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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, hydrophilie et localisation...) <p>Limites : On se limite à un exemple qui peut être celui de la synapse neuromusculaire ou d'une synapse neuro-neuronique. On limite les précisions sur les mécanismes moléculaires à ce qui est strictement nécessaire à la compréhension du modèle. Aucun exemple spécifique n'est exigible, mais le choix d'un support permettant d'intégrer endocytose, exocytose et de comparer canaux voltages et ligands dépendants peut être pratique. Les mécanismes producteurs des potentiels post-synaptiques, de leur propagation et de leur intégration ne sont pas au programme.</p> <p>Lien : 2.3</p>	
<p>1.3 Les biosynthèses au sein des cellules eucaryotes</p> <p>1.3.1 Les cellules eucaryotes synthétisent leurs constituants moléculaires</p> <p>La cellule possède des constituants moléculaires complexes (acides nucléiques, lipides, protéines, polymères glucidiques), de durée de vie variable, et qui sont l'objet d'un renouvellement.</p> <p>L'ensemble des biosynthèses réalisées par une cellule est spécifique en liaison avec sa</p>	<p>Cette partie vise à montrer que la cellule est une machine thermodynamique qui transforme de la matière. La cellule synthétise ses propres constituants moléculaires soit à partir d'autres constituants organiques servant de matière première, soit à partir de matière minérale pour certaines cellules photo ou chimiosynthétiques . Ces biosynthèses sont d'abord placées dans un contexte général montrant la diversité des synthèses, l'intervention d'enzymes, la nécessité d'énergie et de matière. La localisation des grandes voies de synthèse au sein d'une cellule eucaryote est présentée. Pour les mécanismes précis, l'étude de l'anabolisme s'appuie sur la synthèse des protéines, présentée en tant que processus de polymérisation d'acides aminés.</p> <ul style="list-style-type: none"> - localiser les principaux constituants moléculaires des cellules eucaryotes et de leur matrice. - relier la durée de vie des biomolécules aux processus de synthèse et de dégradation au sein des cellules. Limite : L'existence de systèmes de dégradation tels que le protéasome au sein des cellules est mentionné mais leur fonctionnement n'est pas au programme. - présenter une biosynthèse liée à la mise en réserve. - relier le type de synthèse à la fonction des constituants moléculaires au sein des cellules. 	S2

<p>différenciation et sa sa fonction spécialisées dans l'organisme.</p> <p>Pour ce qui est du contrôle, les biosynthèses de la cellule sont soit constitutives, soit contrôlées.</p> <p>Toute synthèse requiert de l'énergie, de la matière et un catalyseur.</p> <p>1.3.2 La biosynthèse des ARN et protéine</p> <p>La synthèse des ARN et des protéines est le fondement de l'expression de l'information génétique. Elle s'intègre dans une séquence transcription-traduction menant de l'ADN au polypeptide en passant par les ARN. Dans le cas de la cellule eucaryote, ces processus sont compartimentés.</p> <p>La transcription correspond à une synthèse d'ARN suivant la séquence d'un brin d'ADN matrice. Elle est assurée par des ARN polymérases ADN dépendantes et génère plusieurs types d'ARN. Les unités de transcription chez les eubactéries sont souvent organisées en opérons. Chez les eucaryotes, les gènes sont morcelés.</p> <p>Chez les eucaryotes, les ARN transcrits à partir de gènes morcelés subissent une maturation dans le noyau qui mène à la formation de l'ARN traduit. L'épissage alternatif produit des ARN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - présenter un exemple de voie de synthèse contrôlé. - montrer qu'une liaison entre deux constituants requiert un apport d'énergie chimique sous la forme d'un couplage chimio-chimique. Lien : La spécificité de réaction des enzymes est évoquée en lien avec l'enseignement de biotechnologies (2.1.1). - mettre en évidence que l'expression de l'information génétique est un processus de transfert d'information entre macromolécules à organisation séquentielle (exemple d'argument : la colinéarité ADN – chaîne polypeptidique); Limites : Les processus fondamentaux d'expression de l'information génétique sont étudiés chez les eubactéries et les eucaryotes dans une optique comparative. Les démonstrations expérimentales de ces processus ne sont pas exigibles. - comparer l'organisation des unités de transcription des génomes eubactériens et eucaryotes. - montrer l'importance des séquences non codantes (promoteur et terminateur) dans le contrôle de la transcription. - montrer que la synthèse d'ARN est une polymérisation - montrer comment la complémentarité de bases assure la fidélité du processus de transcription de la séquence - fournir une estimation en ordre de grandeur de la quantité d'énergie nécessaire à la polymérisation - expliquer le rôle d'une interaction acides nucléiques/protéines à partir de l'exemple du promoteur des gènes eubactériens. Limites : L'organisation moléculaire des protéines impliquées n'est pas au programme. On se limite à décrire l'activité enzymatique des ARN polymérases. Chez les eucaryotes, on ne traite que de l'ARN polymérase II et de la polymérisation des ARN messagers. La composition du complexe d'initiation de la transcription et l'organisation du promoteur ne sont pas à mémoriser. - montrer que maturation des ARN mène à distinguer le génome du transcriptome. Limites : Il s'agit ici de décrire les mécanismes d'excision-épissage, de mise en place du chapeau 5' et de la polyadénylation. Le détail des ARN nucléaires impliqués dans ces mécanismes ne sont pas 	
---	--	--

<p>différents pour une même unité de transcription.</p> <p>Dans le cytosol, les ARN messagers matures sont traduits en séquence d'acides aminés. La traduction repose sur la coopération entre les différentes classes d'ARN et sur le code génétique.</p> <p>La traduction est suivie par un repliement tridimensionnel de la chaîne polypeptidique éventuellement assisté par des protéines chaperons</p> <p>Chez les eucaryotes, la traduction des protéines membranaires et sécrétées met en jeu différents compartiments. Les protéines subissent un adressage et des modifications post-traductionnelles.</p> <p>La synthèse des protéines peut être contrôlée à chacune de ses différentes étapes. Ce contrôle est le fondement de la spécialisation cellulaire.</p> <p>Le contrôle de la transcription fait intervenir des interactions entre séquences régulatrices et facteurs de transcription. L'initiation de la transcription est un point clé du contrôle de l'expression.</p> <p>Le niveau de transcription dépend aussi de l'état de méthylation de l'ADN et de modifications de la chromatine. Les modifications de la chromatine constituent une information</p>	<p>attendues. Un seul exemple d'épissage alternatif est exigible.</p> <ul style="list-style-type: none"> - discuter des caractéristiques du code génétique - expliquer le rôle des interactions entre ARN au cours de la traduction à partir de la reconnaissance du signal d'initiation de la traduction et de l'interaction codon anticodon (modèle eubactérie) - discuter de l'importance de la charge des ARNt catalysée par l'amino-acyl ARNt synthétase pour la fidélité de traduction - montrer l'intervention de facteurs de contrôle et de couplage énergétique au cours de la traduction. <p>Limite : Une liste des facteurs n'est pas exigible.</p> <ul style="list-style-type: none"> - estimer en ordre de grandeur le coût énergétique de la formation d'une liaison peptidique <p>Lien Biotechnologies : 1.1.2, 1.1.3</p> <ul style="list-style-type: none"> - interpréter une expérience de pulse-chase afin de montrer un flux de matière à travers une cellule eucaryote sécrétrice. -montrer que l'adressage comme les modifications post-traductionnelles reposent sur des signaux présents au sein des chaînes polypeptidiques chez les procaryotes comme chez les eucaryotes <p>Limite : On se limite aux mécanismes simplifiés de translocation co-traductionnelle dans le réticulum et aux seules mentions et localisations des modifications par glycosylations.</p> <ul style="list-style-type: none"> -commenter un panorama des différents points de contrôle du processus d'expression de l'information génétique en relation avec la compartimentation cellulaire ; <ul style="list-style-type: none"> -mettre en évidence l'existence de contrôles positif et négatif de l'initiation de la transcription à partir de l'exemple de l'opéron lactose ; - expliquer en quoi l'assemblage et la mise en fonctionnement du complexe d'initiation constituent la principale voie de régulation de l'expression génétique (boîte TATA, facteurs cis et trans). -identifier les différents « domaines » structuraux d'un facteur de transcription (liaison à l'ADN, transactivation, liaison à des messagers...). Un seul exemple d'organisation structurale de facteur de transcription est exigible (exemple préconisé : récepteur aux hormones lipophiles). <p>relier les différents états de condensation de la chromatine interphasique avec le niveau de transcription</p> <ul style="list-style-type: none"> -expliquer simplement le lien entre méthylation de l'ADN, acétylation des histones et la possibilité de transmission d'information épigénétique au cours des 	
---	---	--

<p>transmissible et sont la base du contrôle épigénétique.</p> <p>L'interférence à l'ARN est un autre mécanisme régulateur majeur.</p>	<p>divisions</p> <p>-discuter des limites d'une approche trop mécaniste et montrer que l'initiation de la transcription est un processus dont la probabilité dépend de la combinaison de nombreux facteurs protéiques en interaction avec la chromatine.</p> <p>Liens : 3.3, 3.4</p> <p>-identifier les processus en jeu lors d'une régulation impliquant l'interférence à l'ARN.</p> <p>Limite : les mécanismes de production des ARN interférents ne sont pas à connaître.</p>	
<p>1.4 Dynamiques métaboliques des cellules eucaryotes</p> <p>La cellule eucaryote est le siège de nombreuses réactions de catabolisme et d'anabolisme. L'ATP véhicule l'énergie nécessaire aux réactions. Elle est produite par couplage chimio-chimique ou par couplage osmo-chimique au niveau des ATP synthases. Des molécules carrefours permettent une interconnexion entre les différentes voies.</p> <p>La cellule musculaire striée squelettique consomme une grande quantité d'ATP. Sa régénération met en jeu différentes voies possibles, en lien avec le type cellulaire et les conditions d'approvisionnement du tissu. En fin d'exercice, la cellule revient à son état initial (dette en O₂).</p> <p>De jour, la cellule végétale convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique exploitée pour produire de la matière organique stockée et exportée. Elle réalise simultanément un catabolisme oxydatif et des synthèses diverses. A l'obscurité, la cellule chlorophyllienne adopte un comportement hétérotrophe. L'amidon stocké dans les chloroplastes est dégradé.</p>	<p>Lien Biotechnologies : 3.1.2</p> <p>-justifier la place de l'ATP en tant que molécule énergétique universelle</p> <p>- commenter un panorama des grandes voies métaboliques d'une cellule eucaryote.</p> <p>-établir la relation entre une voie métabolique et ses caractéristiques (sa localisation, son rendement, sa vitesse).</p> <p>- identifier une molécule carrefour et établir ses caractéristiques.</p> <p>- à partir de l'exemple de la cellule musculaire striée squelettique, montrer le lien entre l'activité de la cellule et les voies cataboliques utilisées (restreintes à l'utilisation d'un stock énergétique, la glycolyse, la respiration mitochondriale et une fermentation).</p> <p>- établir le lien entre la voie métabolique et l'utilisation du dioxygène.</p> <p>- décrire le retour aux conditions initiales après un exercice musculaire.</p> <p>- distinguer les types trophiques des cellules d'un organisme végétal.</p> <p>Limite : étude de l'autotrophie vis-à-vis du carbone</p> <p>- à partir de l'exemple d'une cellule végétale chlorophyllienne, construire un schéma bilan du métabolisme de la cellule selon les conditions d'éclairement (jour / nuit).</p> <p>Lien : 2.4.1, Travaux pratiques</p>	S3
<p>1.5 Le cycle cellulaire et la vie des cellules</p>	<p>Ce chapitre permet une approche temporelle des différents processus cellulaires décrits dans la partie 1. Il est l'occasion de rappeler l'importance de la conservation de l'information génétique pour le renouvellement cellulaire et le maintien des</p>	S2

<p>Le cycle cellulaire est constitué par une succession de phases assurant la croissance, le maintien et la division cellulaires.</p> <p>Le passage d'une phase à une autre est sous le contrôle de signaux extracellulaires et de facteurs internes notamment liés à l'intégrité de l'information génétique.</p> <p>La conservation de l'information génétique au cours des cycles cellulaires est liée à :</p> <ul style="list-style-type: none"> -la réparation des lésions de l'ADN ; -la duplication de l'information génétique au cours de la phase S par réplication semi-conservative de l'ADN ; <p>La mitose répartit de façon équitable le matériel génétique nucléaire entre les deux cellules filles.</p> <p>La différenciation cellulaire implique un arrêt des divisions cellulaires et une sortie du cycle cellulaire.</p> <p>Des dérèglements du cycle cellulaire conduisent à des divisions incontrôlées à l'origine des cancers.</p>	<p>organismes.</p> <ul style="list-style-type: none"> -mettre en relation les différentes phases du cycle cellulaire avec la quantité d'ADN dans les cellules et les activités cellulaires, en particulier les processus liés à l'information génétique ; -connaître les durées relatives des phases du cycle cellulaire en lien avec les processus s'y déroulant. - montrer que les points de contrôle du cycle cellulaire participent à la conservation de l'information génétique. - montrer l'importance de la conservation de l'information génétique dans le maintien de l'activité des organismes. -montrer que la complémentarité des bases azotées est à l'origine de la fidélité des processus de réparation et de réplication ; -caractériser à l'échelle chromosomique la duplication chez les eucaryotes. <p>Limite : Les mécanismes moléculaires de la réparation et de la réplication ne sont pas au programme. Lien Biotechnologies : 4.2.1 Lien : 5.1</p> <ul style="list-style-type: none"> -caractériser les différentes phases de la mitose. -montrer l'importance du fuseau mitotique et de son fonctionnement dans la répartition équitable de l'information génétique. <p>Lien : 3.1</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer, à l'aide de l'exemple de la division des cellules végétales la distinction entre division nucléaire et division cellulaire. - montrer à partir d'un exemple que la différenciation cellulaire conduit à l'arrêt de la prolifération cellulaire. <p>Limite : Aucun détail des signaux impliqués n'est attendu. Lien : 3.3</p> <p>Limite : La connaissance du contrôle du cycle cellulaire n'est pas attendue</p>	
--	---	--

TRAVAUX PRATIQUES de 1^{ère} année associés à la partie 1

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
<p>Cellules eucaryotes (2 séances)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -identifier les structures cellulaires eucaryotes à partir d'observations microscopiques photonique et électronique -faire le lien entre la définition des objets observés et les techniques d'observation et de mise en évidence des structures cellulaires (coupe, coloration, immunocytochimie...)

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Membranes et matrice (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - identifier des jonctions cellulaires et des matrices extracellulaires à partir d'observations microscopiques photonique et électronique. - comprendre l'organisation fonctionnelle des tissus animaux à partir de l'observation d'un épithélium et d'un tissu conjonctif.
Cycle cellulaire (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les différentes phases du cycle cellulaire à partir d'observations microscopiques photonique et électronique de cellules animale et végétale. - mettre en relation l'état des chromosomes avec les phases du cycle cellulaire

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 1

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Photosynthèse (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - observer les chloroplastes, isoler les pigments assimilateurs par chromatographie sur papier et caractériser le spectre d'absorption. - mettre en évidence l'efficacité photosynthétique des différentes radiations. - montrer la différence de métabolisme jour/nuit dans les cellules chlorophylliennes.

2 - L'organisme, un système en interaction avec son environnement

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
2.1 L'organisme vivant : un système physico-chimique en interaction avec son environnement 2.1.1 Regards sur l'organisme animal Tout organisme vivant est un système thermodynamique ouvert, en besoin permanent d'énergie. Dans le cas de l'organisme animal, ce besoin est satisfait par la consommation d'aliments (hétérotrophie), suivie de leur transformation. Les métabolites sont distribués dans l'ensemble de l'organisme et entrent ainsi dans le métabolisme. Le métabolisme énergétique aérobie est relié à la fonction respiratoire. Les déchets produits sont éliminés. La reproduction est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité ouvre à la sélection. La réalisation de l'ensemble de ces	<p>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...).</p> <p>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.</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 ; <p>- expliquer et identifier sur quelques situations simples</p>	S1

<p>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>les interactions entre les fonctions qui fondent l'unité de l'organisme ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>2.1.2 Plans d'organisations et relation organisme/milieu</p> <p>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.</p> <p>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>Il s'agit d'un temps de synthèse qui permet de confronter les observations faites en travaux pratiques aux connaissances et concepts construits en 2.1.1.</p> <p>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.</p> <p>Liens : Travaux pratiques, 2.2</p>		
<p>2.2 Exemple d'une fonction en interaction directe avec l'environnement: la respiration</p> <p>Les échanges respiratoires reposent exclusivement sur une diffusion des gaz et par conséquent suivent la loi de Fick.</p> <p>L'organisation des surfaces d'échange respiratoires tout comme les dispositifs de renouvellement des milieux 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</p>	<p>L'argumentation est mémorisée sur un nombre réduit d'exemples : mammifère, poisson téléostéen, crustacé décapode, insecte et s'appuie sur les observations faites en travaux pratiques</p> <ul style="list-style-type: none"> -relier les dispositifs observés aux différentes échelles aux contraintes fonctionnelles (diffusion – loi de Fick) ainsi qu'aux contraintes du milieu de vie (densité, viscosité, richesse en eau, en oxygène). - identifier et énoncer des convergences anatomiques ou fonctionnelles 	<p>S2</p>

<p>être détectées et reliées aux contraintes physico-chimiques du milieu (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. La quantité de transporteurs limite aussi la quantité d'oxygène transporté et la performance. 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"> - analyser la convection externe sur deux exemples : un poisson téléostéen pour la convection externe en milieu aquatique et un mammifère (Souris) pour la ventilation pulmonaire - expliquer l'optimisation des gradients de pression partielle sur un exemple d'échange à contre courant. <ul style="list-style-type: none"> - 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. - expliquer l'intérêt du transport dans l'hématie. <p>Limite : Les mécanismes de contrôle de la respiration ne sont pas au programme.</p>	
<p>2.3 Un exemple d'intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme</p> <p>La circulation est un système de distribution à haut débit de nutriments, gaz, ions, hormones au sein de l'organisme.</p> <p>Le cœur est une pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global.</p> <p>Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des</p>	<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. 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> <p>Limite : Cette partie porte uniquement sur l'exemple du système circulatoire des Mammifères, <i>essentiellement l'Homme</i>.</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 : 2.1, 1.4, travaux pratiques</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 ; - relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme avec la séquence de contraction ; 	<p>S3</p>

<p>propriétés du tissu nodal.</p> <p>La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire).</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> <p>Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés</p> <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 contrôle et fait intervenir des mécanismes à différentes échelles temporelles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 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>Limite : 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.</p> <p>Lien : 1.2</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. <ul style="list-style-type: none"> - décrire les fonctions des différentes composantes d'une boucle de régulation sur l'exemple du baroréflexe. <p>Limite : L'organisation du système neurovégétatif n'est pas au programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter et appliquer le concept de boucle de régulation ; - expliquer des dysfonctionnements par des interactions entre génotype et environnement ou par la sénescence, toutes les données étant fournies. <p>Limite : Aucun exemple n'est à mémoriser.</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 d'adapter le fonctionnement de l'organisme aux différents contextes ; - décrire les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire. <ul style="list-style-type: none"> - présenter les conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle ; - 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>Limite : L'organisation du rein et son fonctionnement ne sont pas au programme. Les mécanismes de contrôle de la soif ne sont pas au programme.</p> <p>Limite : Pour les contrôles autres que celui de la fréquence cardiaque, les voies de transduction à l'échelle cellulaire ne sont pas au programme.</p>	
<p>2.4 La vie fixée des Angiospermes</p> <p>2.4.1 Les Angiospermes, organismes autotrophes à vie fixée</p>	<p>L'étude du fonctionnement nutritionnel des Angiospermes est réalisée à plusieurs échelles. Il s'agit de montrer les fondements métaboliques de l'autotrophie et leurs conséquences à l'échelle des individus en relation avec les milieux de vie. Les relations entre la plante et son milieu de vie sont abordés à différentes échelles temporelles.</p>	<p>S2</p>

<p>Les Angiospermes ont des besoins de matière minérale pour leur équilibre hydrominéral et leurs synthèses organiques.</p> <p>La photosynthèse assure l'autotrophie de la plante Angiosperme. La photosynthèse est réalisée par la cellule chlorophyllienne et fait intervenir des compartiments spécialisés, les chloroplastes.</p> <p>Les produits de la photosynthèse (oses, acides aminés) sont distribués dans la plante par la sève élaborée aux cellules hétérotrophes. L'approvisionnement en eau, ions et dioxyde de carbone met en jeu des surfaces d'échange.</p> <p>L'eau et les ions sont captés dans le sol par l'appareil racinaire et acheminés aux organes par l'intermédiaire de la sève brute.</p> <p>Des échanges gazeux (et en particulier d'eau, de dioxyde de carbone et de dioxygène) ont lieu au niveau des stomates des organes aériens. L'ouverture des stomates est contrôlée et permet la régulation de l'équilibre hydrique.</p> <p>Les surfaces d'échange du végétal se développent en relation avec les paramètres physico-chimiques du milieu de vie et le plan d'organisation de l'espèce.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les besoins de matière minérale d'un végétal Angiosperme ; - mettre en relation des constituants minéraux avec différents processus liés à la vie de la plante (croissance cellulaire, métabolisme énergétique) Limites : Il n'est pas envisagé ici d'étude exhaustive des besoins nutritionnels du végétal. L'objectif est de montrer que l'implication des ions minéraux ne se limite pas à la nutrition. - établir que la capacité photosynthétique de certaines cellules de la plante assure l'autotrophie de l'ensemble de l'organisme grâce aux corrélations trophiques. - présenter un bilan chimique simple de la photosynthèse et l'importance du couplage photochimique pour sa réalisation. - identifier les flux de matière entre les différents compartiments au sein d'une cellule chlorophyllienne; -expliquer que le flux de composés organiques est dépendant de la production des organes sources (les feuilles) et des besoins des organes puits. Limite : aucun modèle expliquant les forces motrices de la circulation de la sève élaborée n'est au programme. -placer les points d'entrée et de sortie de l'eau sur un schéma fonctionnel de la plante ; -analyser les flux hydriques entre la plante et son milieu en utilisant la notion de potentiel hydrique ; -montrer que l'absorption d'ions minéraux est un processus actif entraînant le flux d'eau au niveau du poil absorbant ; -mettre en évidence l'importance quantitative des mycorhizes Limite : Les nodosités ne sont pas traitées. -identifier les propriétés des éléments conducteurs, xylème et phloème, acheminant les sèves brutes et élaborées. - identifier les moteurs de circulation de la sève brute et leur importance relative au cours d'une année en milieu tempéré - expliciter le paradoxe des échanges gazeux réalisés au niveau des stomates (perte d'eau versus échanges des gaz liés au métabolisme énergétique) ; - établir ou montrer l'existence de facteurs internes et externes contrôlant l'ouverture et la fermeture des stomates ; Limite : Un seul exemple de mode d'action de ces facteurs doit être connu. - expliciter la relation entre l'organisation des surfaces spécialisées dans les échanges (racines, feuilles) et leur fonction. - présenter des exemples à différentes échelles de variation phénotypique liées aux caractéristiques du milieu (exemples : ports des individus, organisation foliaire, 	
---	---	--

<p>La disponibilité de la ressource en eau et la physiologie des organismes (exigences hydriques) influencent la répartition des espèces.</p> <p>2.4.2 Les Angiospermes et le passage de la mauvaise saison</p> <p>En climat tempéré, le fonctionnement d'une Angiosperme est rythmé par l'alternance des saisons.</p> <p>La perception des saisons par l'organisme est liée aux signaux de photopériode et température.</p> <p>La perception de ces signaux déclenche des réponses cellulaires et tissulaires qui synchronisent l'organisme avec les saisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> - métabolisme réduit (vie ralentie, dormance). - mise en réserve. - modifications protégeant le végétal durant l'hiver. - reprise de la vie active ; - floraison. 	<p>feuilles d'ombre et de lumière) Liens : travaux pratiques, 3.4</p> <ul style="list-style-type: none"> - faire le lien entre distribution géographique d'une espèce et sa physiologie. <p>Limite : Les exemples étudiés (parmi les exemples possibles des espèces de xérophytes, halophytes...) ne sont pas à mémoriser.</p> <p>Le but de ce chapitre est de montrer que le métabolisme des Angiospermes est influencé par les variations saisonnières des ressources. Le passage de l'hiver sera un « modèle » pour aborder cette idée, mais d'autres exemples sont possibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les contraintes liées au passage de l'hiver par les Angiospermes (faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau) - identifier les organes de résistance et leurs caractéristiques. <p>Lien : travaux pratiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence l'action de la photopériode et des températures dans l'induction de réponses (floraison, chute des feuilles). - replacer dans le cycle des saisons les principaux états physiologiques du végétal. <ul style="list-style-type: none"> - distinguer la vie ralentie de la dormance. <p>Limite : les mécanismes précis d'entrée en dormance ne sont pas exigibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> - localiser les réserves végétales ; - mettre en lien la nature des réserves avec leur stabilité dans le temps ; - connaître un exemple de mise en réserve. <p>Lien : 1.3.1</p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire l'abscission foliaire et l'évolution des vaisseaux de sève : les interpréter comme un moyen de protection contre le gel. <ul style="list-style-type: none"> - décrire les étapes de la reprise de l'activité de la plante au printemps à différents niveaux. - montrer que la floraison nécessite des conditions de vie favorables. <p>Lien : 3.1</p>	<p>S4</p>
--	---	------------------

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
La souris (2 séances)	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer le plan d'organisation d'un mammifère à partir de la dissection de la souris en étudiant sa morphologie, son anatomie (appareil cardio-respiratoire, appareil digestif, appareil uro-génital). - dégager la notion d'organes, d'appareils et de leurs interrelations fonctionnelles à l'échelle de l'animal. - mettre en relation les caractéristiques morpho-anatomiques de la souris avec son milieu et son mode de vie. - décrire l'organisation histologique du poumon.
Un poisson téléostéen (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer le plan d'organisation d'un poisson osseux à partir de sa dissection en étudiant sa morphologie, son anatomie (cavité branchiale, cavité générale). - mettre en relation ses caractéristiques morpho-anatomiques avec son milieu et son mode de vie - décrire l'organisation histologique des branchies <p>Les séances souris et poisson téléostéen sont l'occasion de dégager les caractéristiques d'un vertébré.</p>
Le Criquet (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer le plan d'organisation d'un insecte à partir de la dissection du criquet en étudiant sa morphologie, son anatomie (appareil digestif, appareil excréteur, appareil respiratoire) - extraire et présenter les pièces buccales. - décrire l'organisation histologique des trachées - mettre en relation ses caractéristiques morpho-anatomiques visibles avec son milieu et son mode de vie <p>La nomenclature des appendices se limite à leur nom.</p>
Un crustacé décapode (Ecrevisse, Langoustine) (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer le plan d'organisation d'un crustacé à partir de la dissection d'un décapode en étudiant sa morphologie, son anatomie (appareil digestif, appareil respiratoire, système nerveux, appareil reproducteur). - extraire et présenter les appendices - mettre en relation ses caractéristiques morpho-anatomiques avec son milieu et son mode de vie. <p>La nomenclature des appendices se limite à leur nom.</p> <p>Les séances insecte et crustacé sont l'occasion de dégager les caractéristiques d'un arthropode</p>
Morpho-anatomie des Angiospermes (4 séances)	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer le plan d'organisation d'un végétal angiosperme à partir d'observations morphologiques et anatomiques. - réaliser des coupes histologiques colorées. - mettre en évidence la diversité histologique de l'appareil végétatif (structures primaire et secondaire). <p>On étudiera à cette occasion l'organisation des surfaces spécialisées dans les échanges (racines, feuilles).</p> <p>Seule l'organisation anatomique d'un végétal angiosperme dicotylédone est exigible.</p>

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 2

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Cœur et vaisseaux sanguins (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les différentes cavités du cœur et comprendre la mise en circulation du sang. Repérer les vaisseaux qui arrivent et partent du cœur. - déterminer les caractéristiques microscopiques des cellules du myocarde. - caractériser les différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies. <p>L'étude sera limitée aux artères, artérioles, veines et capillaires.</p>

<p>Passage de la mauvaise saison</p> <p>(1 séance)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - étudier les organes végétatifs et reproducteurs qui permettent le passage de la mauvaise saison et la reprise de la vie végétative (tubercules, bulbes, rhizomes, graine de haricot, caryopse de blé, fruit charnu). - mettre en évidence les réserves végétales. - montrer l'implication des organes de réserves dans la multiplication végétative.
---	--

3 - Reproduction des individus et pérennité des populations

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
<p>3.1 Reproduction des animaux et végétaux</p> <p>La reproduction sexuée des organismes s'inscrit dans un cycle de développement</p> <p>Reproduction sexuée des Métazoaires Chez les animaux, les gamètes peuvent être libérés dans le milieu de vie pour une fécondation externe, ou se rencontrer dans les voies génitales femelles suite à un accouplement en une fécondation interne. La fusion des gamètes et de leurs matériels génétiques dépend de mécanismes cellulaires et moléculaires.</p> <p>Reproduction sexuée des Embryophytes Chez les Angiospermes, la pollinisation permet le rapprochement des cellules impliquées dans une double fécondation.</p> <p>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>	<ul style="list-style-type: none"> - décrire les cycles de développement d'un Embryophyte et d'un Métazoaire - placer les phases haploïde et diploïde sur ces deux cycles - identifier les étapes de changement de phase (méiose et fécondation) sur ces cycles - positionner les étapes de formation des gamètes (des spores et des gamétophytes), à la fois dans l'organisme et dans le cycle de développement - montrer que les modalités de rapprochement des gamètes animaux sont liées au milieu et au mode de vie des animaux - exposer deux exemples (une espèce aquatique à vie fixée et une espèce réalisant une parade nuptiale permettant un choix de partenaire) - décrire l'organisation des gamètes mâle et femelle ainsi que les modalités cellulaires de la fécondation à partir d'un exemple (à choisir parmi un des deux exemples ci-dessus) - montrer que les gamètes sont des cellules spécialisées et complémentaires Limite : La gamétogenèse n'est pas au programme - décrire l'organisation de la fleur des Angiospermes et des gamétophytes en tant que structures reproductrices (un exemple) - identifier différents types de pollinisation et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés - faire le lien entre les systèmes d'auto-incompatibilité et le brassage génétique lié à la reproduction sexuée Lien : 3.2 - exposer les modalités de la double fécondation - décrire les devenir du sac embryonnaire fécondé, de 	<p>S1</p>

<p>Multiplication végétative naturelle chez les Angiospermes Certains organismes peuvent réaliser une reproduction asexuée.</p> <p>Allocation énergétique liée à la reproduction et occupation des milieux La part d'énergie consacrée à la reproduction et son utilisation sont en relation avec le milieu de vie.</p>	<p>l'ovule et de la fleur, sans connaître les mécanismes de ces évolutions</p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les caractéristiques des fruits en lien avec les modalités de la dissémination - montrer que les modalités de reproduction sexuée des Angiospermes sont liées à leur mode et milieu de vie <p>Limites : Les détails moléculaires des systèmes d'autoincompatibilité ne sont pas attendus.</p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire quelques exemples de multiplication végétative chez les Angiospermes. - discuter l'intérêt culturel de la multiplication végétative. <p>- à partir de quelques exemples pris chez les animaux et les végétaux, montrer que la part d'énergie disponible affectée à la reproduction et son utilisation diffèrent en fonction des caractéristiques du milieu.</p> <p>Limite : Les notions de stratégies démographiques r et K et leurs liens avec la courbe logistique seront présentés mais ne constituent pas la base de l'étude.</p> <p>Liens : 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>3.2 Aspects chromosomiques et génétiques de la reproduction</p> <p>Dans le cas de la multiplication végétative, les nouveaux organismes créés résultent exclusivement de divisions mitotiques.</p> <p>La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles : la méiose contribue à la diversification des combinaisons alléliques des génomes haploïdes à partir de génomes diploïdes, si ceux-ci contiennent déjà une diversité d'allèles. En unissant des génomes haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes.</p> <p>Les populations constituent des</p>	<p>Lien : 1.5</p> <ul style="list-style-type: none"> - relier les principaux événements cytogénétiques de la méiose avec leurs conséquences sur le brassage allélique. - argumenter les processus de brassage génétique en s'appuyant sur le principe de quelques croisements simples mais différant par deux couples d'allèles pris chez les organismes 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>Lien : 3.1</p> <p>Limite : 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.</p>	<p>S1</p>

<p>réservoirs d'allèles. La répartition de ces allèles au sein des réservoirs évolue au cours du temps, en particulier sous l'influence de facteurs internes dépendant des systèmes de reproduction ou externes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter des données quantifiant le polymorphisme. - présenter, discuter, exploiter le modèle de Hardy-Weinberg ; - exposer des exemples de populations différant par le taux d'autogamie. <p>Lien : 5.1</p>	
<p>3.3 Développement embryonnaire des animaux</p> <p>3.3.1 Développement embryonnaire et acquisition du plan d'organisation</p> <p>Le développement embryonnaire animal se déroule suivant plusieurs étapes continues (segmentation, gastrulation, organogenèse) et permet la mise en place d'un plan d'organisation (larvaire ou juvénile). Dans ses grands traits, cette succession est commune, en particulier chez les vertébrés.</p> <p>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>3.3.2 Contrôle du développement embryonnaire</p> <p>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</p>	<p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> - décrire les étapes du développement embryonnaire d'un amphibien pour argumenter la mise en place progressive du plan d'organisation (acquisition du caractère pluricellulaire, symétrie et polarité, feuilletts...) jusqu'au stade bourgeon caudal ; <i>Aucune mémorisation d'exemples complémentaires n'est exigée.</i> - lier les grands types de phénomènes constatés aux mécanismes qui les permettent (divisions cellulaires, adhérence intercellulaire, intervention du cytosquelette...) ; - présenter un exemple de différenciation cellulaire, ainsi que les événements génétiques associés (exemple préconisé : la différenciation du myocyte squelettique) ; - transposer le modèle établi à d'autres cas de différenciation cellulaire à partir de documents ; <p>Limite : un exemple pour chaque grand mécanisme. Liens : 1.1, 1.2, 1.5</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>Lien : 2.3</p>	S3

<p>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>	<p>Lien : 3.4.</p>	
<p>3.4 Morphogenèse et plasticité phénotypique du développement des plantes Angiospermes</p> <p>3.4.1. Mécanismes fondamentaux du développement post-embryonnaire des Angiospermes</p> <p>L'activité des méristèmes primaires au niveau des apex met en place la structure primaire de l'axe racine/tige feuillée. L'organogenèse et la croissance en longueur se déroulent tout au long de la vie de la plante.</p> <p>L'activité des méristèmes secondaires met en place les tissus secondaires.</p> <p>La mise en place de méristèmes latéraux permet l'extension des surfaces d'échanges de la plante avec son milieu. La phyllotaxie, le mode de croissance et de ramification sont des processus responsables du port du végétal.</p> <p>L'auxèse ou grandissement cellulaire repose sur des modifications pariétales, des flux hydriques et une néosynthèse de composants</p>	<p>Ce paragraphe se fonde sur les études morphologique et anatomique des plantes angiospermes en travaux pratiques. Il s'agit d'exposer les mécanismes fondamentaux du développement : mèresè, auxèse et différenciation. L'objectif de ce paragraphe est de montrer que la morphogenèse chez les végétaux est liée à l'environnement et qu'elle est une réponse aux caractéristiques du milieu dans le cadre de la vie fixée.</p> <p>Lien : travaux pratiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - établir, à l'aide d'observations morphologiques, le développement itératif et indéfini de l'axe caulinaire ; - mettre en évidence l'existence de plusieurs processus cellulaires (mèresè, auxèse, différenciation) dans le développement des axes primaires d'une plante angiosperme ; - présenter l'organisation et le fonctionnement du méristème apical caulinaire en relation avec les organes et les tissus générés. - mettre en relation le maintien d'un réservoir de cellules au sein du méristème et le développement indéfini. <p>Limite : Le contrôle génétique du méristème apical caulinaire n'est pas exigible.</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer que le fonctionnement du cambium permet la production tridimensionnelle de tissus libéro-ligneux à l'origine de la croissance en épaisseur. - mettre en relation phyllotaxie et captation d'énergie lumineuse <p>Lien : 2.4.1</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer le port d'un arbre et d'un buisson et caractériser les processus impliqués <ul style="list-style-type: none"> - établir, à l'aide de résultats expérimentaux, les principaux processus cellulaires de l'auxèse ; <p>Lien : 1.2</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer les rôles à court et long terme de l'auxine 	<p>S4</p>

<p>matriciels. L'auxèse est sous le contrôle d'une phytohormone, l'auxine.</p> <p>La différenciation cellulaire correspond à la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules.</p> <p>3.4.2. Influence des facteurs environnementaux sur le développement post-embryonnaire</p> <p>Les variations morphologiques, anatomiques et physiologiques des organes d'une même espèce sont sous la dépendance des conditions du milieu au cours de leur développement.</p> <p>Le phototropisme est une croissance orientée liée à une auxèse différentielle. La lumière, facteur externe, induit une répartition différentielle de l'auxine.</p> <p>Les modalités cellulaires et moléculaires du développement ainsi que l'influence des facteurs du milieu se retrouvent dans le développement de l'appareil racinaire.</p>	<p>dans les mécanismes d'auxèse.</p> <p>Limites : Les expériences historiques de découverte de l'auxine ne sont pas exigibles. Les modalités du transport de l'auxine ne sont pas traitées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter les étapes et les mécanismes de la différenciation d'un vaisseau de xylème ; - montrer que les modifications de la paroi sont un élément majeur de la différenciation des cellules chez les angiospermes. <ul style="list-style-type: none"> - montrer que le développement indéfini des végétaux permet une plasticité morpho-anatomique en relation avec l'environnement - distinguer, à partir de l'analyse d'exemples, accommodation, adaptation et convergence morphologique. - établir que la production des tissus conducteurs secondaires par le cambium est liée aux variations saisonnières. - montrer que les variations du milieu influencent la relation anatomie/physiologie au sein d'une feuille (exemples : feuille d'ombre et de lumière, index stomatique). <ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence, avec des données expérimentales, le rôle de l'auxine dans le phototropisme caulinaire et ses mécanismes ; - présenter un modèle d'interactions cellulaires et moléculaires expliquant la courbure phototropique. <p>Limites : Concernant l'appareil racinaire, aucune connaissance concernant son développement n'est exigible. Il s'agit d'être capable de transférer les raisonnements et les concepts développés pour la tige feuillée par l'analyse d'informations fournies.</p>	
--	---	--

TRAVAUX PRATIQUES de 1^{ère} année associés à la partie 3

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
<p>Gamétogenèse et fécondation animales</p> <p>(1 séance)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence, à l'aide d'observations microscopiques, la spécialisation des gamètes et les étapes de leur différenciation - analyser des données expérimentales pour montrer la spécificité de reconnaissance des gamètes et les remaniements de l'ovocyte

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Reproduction des Angiospermes (3 séances)	<ul style="list-style-type: none"> - observer et représenter de façon conventionnelle l'organisation de la fleur - mettre en lien la diversité florale avec le mode de pollinisation - mettre en évidence les transformations des différentes pièces florales après la fécondation. Etablir la correspondance carpelle-fruit et ovule-graine - mettre en lien la diversité des fruits et graine avec leur mode de dissémination (la typologie des graines et des fruits, tout comme les différents modes de déhiscence ne sont pas exigés)
Méiose et brassage génétique (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en relation les différentes phases de la méiose avec les brassages inter et intrachromosomiques à partir d'observations microscopiques photonique et électronique de cellules animale et végétale - comprendre la diversité allélique générée par la reproduction sexuée à travers l'étude de croisements haploïdes et/ou diploïdes - loi de Hardy-Weinberg (pour deux allèles) et discussion de son champ de validité (migration, mutation, sélection, dérive et choix d'appariement)
Allocation énergétique de la reproduction (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - établir le lien à partir d'analyse de documents entre stratégies reproductives des organismes et environnement - comprendre et interpréter le modèle logistique

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 3

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Développement embryonnaire d'un amphibien (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les différents stades du développement embryonnaire d'un amphibien à partir d'échantillons (embryons <i>in toto</i>, lames minces) et de clichés (microscopie optique, microscopie électronique)

4 - Biologie des écosystèmes

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
4.1 Les populations et leur dynamique Les organismes d'une même espèce forment une population dont l'effectif et la structure peuvent présenter des variations au cours du temps Des modèles fournissent des archétypes qui sont des clés d'analyse du réel.	<ul style="list-style-type: none"> - analyser des variations d'effectifs de populations sous l'effet de facteurs indépendants de la densité (facteurs du biotope) et de facteurs dépendants de la densité (interactions trophiques et compétitions). - identifier les principaux paramètres démographiques (natalité, mortalité, sex ratio, fécondité, taux d'accroissement r), les présenter comme résultant de l'ensemble des histoires de vie individuelles au sein de la population. - présenter des modèles mathématiques (modèle de croissance logistique, équations de Lotka-Volterra) : les paramètres pris en compte, l'allure de la modélisation 	S3

	<p>graphique, leurs limites et intérêts. Liens : 3.1, travaux pratiques</p>	
<p>4.2 Les écosystèmes, leur structure et leur fonctionnement</p> <p>L'ensemble des populations (la biocénose) forme avec le biotope les éléments de l'écosystème. La distribution spatiale de ces éléments détermine en partie la structure des écosystèmes.</p> <p>Au sein de l'écosystème, les populations entretiennent entre elles des relations variées qui affectent notamment le fonctionnement des organismes et la structure de leurs populations.</p> <p>Les conditions biotiques et abiotiques constituent la niche écologique. L'occupation de l'écosystème par une population est restreinte par la compétition interspécifique.</p> <p>La biocénose d'un écosystème dissipe l'énergie initialement captée et transformée par les organismes autotrophes. Parallèlement à ce flux d'énergie de la matière est échangée et transformée.</p> <p>Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques.</p>	<p>On pourra s'appuyer sur l'exemple d'une pâture de bovin gérée par l'homme comme exemple d'agrosystème.</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer l'existence d'une structuration spatiale (distribution des espèces, strates, notion d'espèce architecte) ; - prendre en compte l'existence d'un sol dans cet écosystème, avec notamment sa fraction microbienne ; - identifier et définir les relations trophiques interspécifiques : mutualisme, parasitisme, prédation, herbivorie. - prendre en compte que leur définition s'appuie sur une nécessaire quantification des coûts / bénéfices pour les partenaires de la relation - identifier et définir des relations de compétitions interspécifiques pour les ressources (spatiales ou trophiques). <p>Lien : travaux pratiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyser des situations mettant en évidence la notion de niche écologie potentielle et niche écologique réalisée. - construire un réseau trophique en identifiant les niveaux trophiques (notion discutée autour d'exemple d'espèces polyphages). - montrer que chaque espèce prélève dans son environnement des substances (de nature différente selon s'il s'agit de producteurs, consommateurs ou décomposeurs) et en rejette d'autres (notion de flux), et crée de la biomasse (notion de production et de productivité), en se limitant à un végétal et un animal (la vache) ; - mettre en évidence les pertes énergétiques d'un niveau trophique à l'autre au travers de la construction d'une pyramide de productivité. Expliquer la nature de ces pertes (notamment la notion de minéralisation au travers des réactions du catabolisme). - présenter les différences entre agrosystème/écosystème (structure, flux d'énergie, temps de résidence de la matière). <p>Liens : 2.1, 2.2, 2.4, 6.1, 6.3, classe de terrain Lien Biotechnologies : 1.3</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyser l'évolution d'un écosystème après une perturbation et montrer qu'il tend à évoluer vers un état stable (caractérisé notamment par une forte proportion de populations présentant des stratégies 	S3

	démographiques de type K). - identifier des perturbations d'origine naturelle et anthropique et discuter de leur caractère réversible (prise en compte la durée des phénomènes). Liens : 3.1, 5.1, 6.3, travaux pratiques	
--	--	--

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 4

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Relations trophiques dans un écosystème (2 séances)	- établir les liens trophiques entre différentes espèces à partir d'un écosystème. - montrer les caractéristiques d'une symbiose à partir d'un exemple. - montrer les caractéristiques d'un système hôte/parasite à partir d'un exemple. On étudiera à cette occasion les adaptations à différentes échelles affectant les partenaires de l'association. - établir le lien entre pièces buccales et régime alimentaire à partir de l'exemple des Insectes.
Les mycètes dans les écosystèmes (1 séance)	- caractériser les mycètes à travers des études macroscopiques et microscopiques (thalles variés, reproduction par spores), moléculaires (nature de la paroi, glycogène...) et trophiques. - identifier les interactions entre mycètes et écosystème (symbiose : lichen et mycorhize, saprophytisme, parasitisme, mise en relation trophique des peuplements d'embryophyte au sein des forêts ...) Cette étude est aussi l'occasion de discuter du caractère variable des relations interspécifiques (mycète/orchidée....)

5 - Biologie évolutive

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
5.1 Mécanismes de l'évolution	La diversité du vivant, constatée dans plusieurs parties du programme, varie au cours du temps et est le résultat d'une histoire passée : c'est l'évolution. 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.	S4
Les mutations sont des modifications de séquence transmissibles à la descendance.	- montrer le lien entre altération de la séquence et apparition d'une mutation en cas d'absence de réparation - montrer la diversité des mutations et leurs	

<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, et est la seule à agir sur les traits neutres.</p> <p>Chez les eucaryotes, les isolements génétiques liés à la reproduction sexués 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>	<p>conséquences aux différentes échelles. Liens : 1.5, 1.3.2</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 (mécanisme de la Phalène du bouleau) et de dérive (expérience de Buri). <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 doit s'appuyer sur les notions de compétition vue au 4.2 et de brassage vu au 3.2 producteur de diversité génétique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - expliquer l'action de la dérive sur les traits neutres et sélectionnés - définir l'effectif efficace. <p>Limite : aucun calcul n'est requis.</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>Lien : 4.1</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). <ul style="list-style-type: none"> - présenter les différents critères susceptibles de définir l'espèce (phénotypique, écologique, phylogénétique) 	
<p>5.2 Systématique et relation de parenté</p> <p>Les êtres vivants présentent des similitudes qui peuvent être</p>	<p>La diversité des plans d'organisation constatée à travers les travaux pratiques et les cours est mise en perspective par la présentation des méthodes de classification.</p> <p>Lien : Travaux pratiques de la partie 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - expliciter la différence entre reconnaître, déterminer et classer. 	<p>S2</p>

<p>interprétées comme un héritage provenant d'un ancêtre commun.</p> <p>Différentes méthodes sont utilisées pour établir des liens de parenté. La méthode cladistique, qui utilise des caractères homologues, fonde la classification phylogénétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - présenter la notion de caractères (caractères morphologique, tissulaire et moléculaire) - présenter les notions d'homologie primaires et secondaires et discuter de leur prise en compte dans la classification - discuter des limites d'une classification phénétique. - présenter succinctement et commenter l'arbre phylogénétique des Eucaryotes, - à partir d'exemples choisis dans cet arbre présenter la notion de groupes paraphylétique et polyphylétique - identifier quelques synapomorphies des clades vus au travers des travaux pratiques (Vertébrés / Mammifères / Téléostéens, Arthropodes / Crustacés/ Insectes, Embryophytes / Angiospermes) <p>Liens : D'autres clades seront vus au travers d'une approche phylogénétique en travaux pratiques au cours de la deuxième année.</p>	
---	---	--

TRAVAUX PRATIQUES de 1^{ère} année associés à la partie 5

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
<p>Diversité des animaux</p> <p>(1 séance)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - comparer les plans d'organisation - construire un arbre phylogénétique

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 5

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
<p>Evolution</p> <p>(1 séance)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier des mécanismes évolutifs à partir de l'analyse de documents (dérive génétique, sélection-adaptation, isolement reproductif,...)
<p>Biodiversité des organismes photosynthétiques</p> <p>(2 séances)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - comparer l'organisation d'une algue verte et d'un Embryophyte à l'échelle macroscopique. - construire une classification simple à partir de comparaisons morpho-anatomiques et biologiques (Bryophytes, Filicophytes, Gymnospermes et Angiospermes) par une méthode cladistique. - savoir replacer un Embryophyte dans cette classification. - établir la diversité globale et discuter du polyphylétisme de l'ensemble des organismes photosynthétiques
<p>Biodiversité des Angiospermes</p> <p>(2 séances)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence le plan d'organisation d'une fleur et ses particularités à l'aide d'une dissection florale. - connaître les critères de reconnaissance de quelques familles d'Angiospermes (Brassicacées, Renonculacées, Fabacées, Lamiacées, Poacées) - utiliser une clé de détermination du genre ou de l'espèce quelle que soit la famille d'Angiosperme

6. Géodynamique externe

Connaissances clés à construire	Commentaires, capacités exigibles	
<p>6.1 Altération des roches, érosion, formation et destruction des sols</p> <p>Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion avec en particulier l'entraînement de produits par les eaux. L'altération d'une roche mère est à l'origine de la formation d'un sol.</p> <p>L'altération chimique transforme la composition initiale de la roche mère par la mise en solution ou la précipitation d'éléments. Ces réactions s'accompagnent de l'apparition de nouveaux assemblages minéralogiques.</p> <p>L'altération mécanique facilite le morcellement du matériau initial et l'érosion permet le départ en suspension de certains de ses éléments.</p> <p>L'altération atmosphérique des silicates consomme du CO₂.</p> <p>Le sol est une interface fragile. Un sol résulte d'une longue interaction entre roches et biosphère : sa formation lente contraste avec la rapidité des phénomènes qui peuvent conduire à sa disparition (dégradation anthropique, érosion). Le sol est un réservoir de carbone organique.</p>	<p>A partir de l'étude du granite et de roches carbonatées identifier et caractériser deux modes d'altération chimique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'hydrolyse qui aboutit à la formation de minéraux argileux et - la dissolution <p>Lien : Travaux Pratiques</p> <p>- relier l'ensemble de ces processus au départ d'éléments en suspension ou en solution et à la persistance d'éléments résiduels et les processus de formation de sols.</p> <p>- montrer l'importance de l'eau et des êtres vivants dans les processus d'altération, d'érosion et/ou de pédogenèse.</p> <p>Liens : 2.4, 4.</p> <p>- souligner l'inégale répartition des sols en lien avec le climat.</p> <p>Lien : 6.3</p> <p>- déterminer la nature, évaluer la quantité, expliquer l'origine du carbone organique présent dans les sols afin de définir le sol comme un réservoir de carbone.</p> <p>Liens : Travaux pratiques, 6.3</p> <p>Limite : L'étude porte sur l'altération d'un granite et d'un calcaire sans aborder les phénomènes géologiques qui mettent ces roches à l'affleurement. Une étude exhaustive de la diversité des sols en relation avec la nature de la roche mère n'est pas envisageable.</p>	<p>S2</p>
<p>6.2 Sédimentation et ressources géologiques</p> <p>Les éléments en suspension ou en solution sont transportés jusqu'à des zones de dépôts.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier différents vecteurs de transport (eau, vent) - décrire la relation existant entre vitesse du courant, taille des particules et les processus transport/dépôt/érosion (diagramme de Hjulström). 	<p>S3</p>

<p>Le dépôt des particules en suspension est à l'origine de roches détritiques. Les ions en solution sont à l'origine des roches sédimentaires d'origine biochimique ou chimique.</p> <p>La matière organique peut être conservée et transformée en roches carbonées.</p> <p>La répartition des sédiments actuels à l'échelle mondiale est liée à différents paramètres (latitude, profondeur océanique, diversité des êtres vivants...).</p> <p>Le processus sédimentaire induit le tri mécanique et/ou géochimique d'éléments. Ceux-ci peuvent être concentrés et constituer des ressources.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - caractériser des aires de sédimentation actuelles en domaines continental et océanique. Lien : Classe de terrain Limite : la géométrie des corps sédimentaires et les variations de l'espace disponible par eustatisme et tectonique ne sont pas abordées. - établir pour la lignée détritique la relation existant entre granulométrie, apport sédimentaire, énergie du milieu et répartition de dépôts. Lien : travaux pratiques - décrire la mise en place d'une roche carbonatée. La diagenèse est seulement mentionnée. - souligner le rôle de la vie dans les phénomènes de bioprécipitation. - discuter l'effet de différents facteurs (température, pH, êtres vivants, profondeur, teneur en CO₂ atmosphérique) sur l'équilibre de précipitation / dissolution des carbonates. - établir les conditions nécessaires à l'apparition d'un gisement de carbone, charbon ou hydrocarbures (accumulation rapide, anoxie, enfouissement, diagenèse). - décrire et interpréter la répartition des sédiments actuels à l'aide d'un planisphère. - présenter la ressource comme un gisement exploitable et économiquement rentable. - montrer la diversité des ressources et l'inégalité des disponibilités locales - distinguer les problématiques (prospection, extraction, transport coût...) associées à une ressource locale abondante et à une ressource plus rare, nécessairement importée. Lien : travaux pratiques, classe de terrain Limite : les exemples seront limités aux roches décrites dans le chapitre 	
<p>6.3 Le cycle du carbone sur Terre : des transferts entre atmosphère, hydrosphère, biosphère et lithosphère</p> <p>Le carbone existe sous différentes formes, réparties dans les différentes enveloppes terrestres.</p> <p>Des transferts de carbone plus ou moins rapides s'établissent entre les différents réservoirs. Les principaux transferts reposent sur des réactions chimiques et des changements d'état (dissolution, dégazage).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les différentes formes et les réservoirs de carbone minéral et organique. Limite : Seule l'importance relative des différents réservoirs est exigible. - associer les réactions chimiques avec les transferts entre réservoirs - montrer l'importance des êtres vivants, en particulier les micro-organismes et la diversité des types trophiques observés dans la biosphère. Lien : 6.1, travaux pratique Lien Biotechnologies : 3.1 	S3

<p>La modification quantitative d'un flux déplace les équilibres entre les différents réservoirs. La cinétique de transfert est modérée par des systèmes tampons.</p> <p>Les activités humaines modifient actuellement les flux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - comparer les temps de résidence afin d'identifier des cycles à différentes échelles de temps. - envisager les conséquences d'un déplacement d'équilibre entre deux réservoirs : il s'agit de montrer ici qu'on a affaire à un système complexe. Il n'est pas demandé une liste exhaustive des interactions entre réservoirs. - présenter un mécanisme de rétroaction. - montrer le rôle central de l'océan. - quantifier les flux de libération anthropique de CO₂ dans l'atmosphère. - discuter les limites des systèmes tampons dans le cas des perturbations anthropiques. 	
<p>6.4 Variations climatiques et réservoir de carbone atmosphérique</p> <p>L'analyse d'archives géologiques et géochimiques permet de montrer des variations passées du climat.</p> <p>Les variations de la teneur en CO₂ et CH₄ et la température sont interdépendantes et mettent en jeu des processus diversifiés : effet de serre, dégazage de l'océan...</p> <p>La modélisation de ces différentes interactions permet d'appréhender l'évolution du climat en intégrant les perturbations anthropiques.</p>	<p>Ce chapitre permet de montrer le lien entre le réservoir de carbone atmosphérique et le climat. L'étude des variations climatiques passées sert de base pour aborder les changements climatiques futurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter des archives géologiques témoins des climats passés : dépôts glaciaires et témoins paléontologiques. - mettre en relation la composition isotopique en ¹⁸O des glaces des inlandsis et les périodes glaciaires et interglaciaires. <p>Limite : enregistrements du climat limités au dernier million d'années.</p> <ul style="list-style-type: none"> - observer la rythmicité des périodes glaciaires et interglaciaires et la relier aux paramètres orbitaux de la Terre, Limite : la connaissance exhaustive des paramètres orbitaux n'est pas exigible. - mettre en relation les paléotempératures et la teneur en CO₂ et CH₄ atmosphérique. - identifier l'effet modérateur et/ou amplificateur de l'albédo et de l'effet de serre. - expliciter les difficultés à modéliser et prédire l'évolution climatique. - évoquer des conséquences probables du réchauffement climatique. 	S3

TRAVAUX PRATIQUES de 1^{ère} année associés à la partie 6

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Classe de terrain	<p><i>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.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - se localiser dans le paysage et le contexte géologique - mettre en relation sol, végétation et roche mère - rendre compte sous différentes formes (photographies, croquis, textes...)

Sol (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - mettre en évidence la composante minérale et organique du sol. - rendre compte de la biodiversité du sol - mesurer les caractéristiques physico-chimiques (porosité, perméabilité, pH)
Roches magmatiques (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - relier les structures des roches magmatiques et leurs mises en place. - reconnaître à l'échelle macroscopique les minéraux caractéristiques du granite. - observer les différences d'altérabilité des minéraux à partir de l'observation d'un granite sain et d'un granite altéré. - établir un lien entre composition chimique et altérabilité.

TRAVAUX PRATIQUES de 2^{nde} année associés à la partie 6

Séance	Connaissances clés à construire, commentaires, capacités exigibles
Classe de terrain	<p><i>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 est l'occasion d'étudier une ressource locale de sa formation à son exploitation.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier, décrire et interpréter des objets géologiques à différentes échelles. - mettre en relation paysage, affleurement et carte - reconstituer et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace. - rendre compte des informations recueillies sous différentes formes (photographies, texte, croquis...).
Roches sédimentaires (1 séance)	<ul style="list-style-type: none"> - relier nature de la roche et son origine (biogénique, détritique, chimique) à travers les exemples suivants : roches carbonatées avec ou sans macrofossile, grès, argilites, conglomérats, bauxite, halite, gypse, houille. - interpréter un log sédimentaire en termes de variations de conditions de dépôt. - calculer un taux de sédimentation.
Cartographie (3 séances)	<ul style="list-style-type: none"> - connaître les méthodes de conception de la carte géologique - présenter et exploiter les principaux caractères de l'échelle chronostratigraphique à partir de la lecture des légendes des cartes. - identifier grâce à la légende les principales formations géologiques afin de localiser les ressources géologiques présentes actuelles et/ou passées et/ou futures - identifier l'organisation spatiale et temporelle des formations sédimentaires à travers des structures simples (plis, failles, discordances, structures tabulaires) en réalisant des schémas structuraux - reconstituer une chronologie des événements sédimentaires et tectoniques en utilisant la carte et des coupes géologiques fournies. - confronter carte géologique et représentations numériques - retrouver des indices des variations climatiques du dernier million d'années. <p>Les cartes choisies seront la carte géologique de la France au 1/1 000 000 et des cartes au 1/50 000.</p>

PROGRAMME de BIOTECHNOLOGIES

Les différentes parties de ce programme sont traitées sur les quatre semestres

En première année sont traités :

- au premier semestre, les parties 1.1 (111 112 113), 1.2, 3.2. (321 322)
- au second semestre, les parties 2.1 (211 2121 2123), 3.1 (311 312), 3.2 (321), 4.1, 4.3(431).

En seconde année sont traités :

- au premier semestre, les parties 1.1 (114), 2.1 (2122 2124 213), 2.2, 3.1 (313), 3.2 (323), 4.2
- au second semestre, les parties 3.2 (321), 4.3 (432 433 434)

1 - Biochimie des protéines et leur purification

(Cours + 12 séances de TP-TD)

L'étude des protéines illustre l'importance de leur structure tridimensionnelle dans les fonctions qu'elles exercent, ainsi que dans la modulation de celles-ci selon l'environnement auquel elles sont soumises.

Les biotechnologies utilisent des protéines qui devront préalablement être extraites, purifiées, caractérisées et quantifiées.

Différentes méthodes sont proposées ici et le lien entre l'objectif de la démarche et le principe de la méthode utilisée est constamment précisé.

Enfin les conditions de réalisation des techniques sont mises en relation avec le cahier des charges de l'expérimentation.

Thématiques	Compétences, limites et commentaires	
1.1. Les protéines : de la structure à la fonction		
1.1.1. Acides aminés La structure et les propriétés des acides aminés sont le fondement des méthodes utilisées pour leur séparation, leur identification et leur dosage.	Ce qui est attendu Représenter la structure générique d'un acide α aminé. Classifier les acides aminés selon leur polarité, leurs propriétés d'ionisation sur la base de formules semi-développées. Utiliser les propriétés physiques et chimiques pour expliquer la séparation et le dosage des acides aminés. Commentaires La stéréoisomérisie et les représentations d'un acide α aminé sont étudiées en physique-chimie. Les groupements chimiques ionisés, polaires et apolaires ainsi que leurs interactions sont étudiés en physique-chimie. Le dosage pH-métrique est étudié en physique-chimie.	S1
1.1.2. Structure primaire La liaison peptidique se crée entre un 1- carboxyle et un groupement alphaaminé	Ce qui est attendu Présenter la géométrie de la liaison peptidique et les propriétés associées. Commentaires L'utilisation de la résonance magnétique nucléaire n'est pas à traiter. L'effet mésomère est étudié en physique-chimie.	S1
1.1.3. Structure tridimensionnelle	Ce qui est attendu	S1

<p>Les différents niveaux de structure (secondaire, tertiaire et quaternaire) des protéines sont déterminés par les propriétés des chaînes latérales des résidus d'acides aminés.</p> <p>Il existe des conditions physico-chimiques qui provoquent la dénaturation des protéines.</p>	<p>Mettre en relation les propriétés des chaînes latérales des acides aminés et la structure tridimensionnelle des protéines. Caractériser les différents niveaux de structure en lien avec les liaisons stabilisatrices. Repérer des motifs et domaines fonctionnels au sein d'une architecture moléculaire.</p> <p>Enoncer le mode d'action de quelques agents dénaturants.</p> <p>Commentaire Les interactions faibles stabilisatrices sont étudiées en physique-chimie.</p>	
<p>1.1.4. Interactions protéine-ligand</p> <p>La structure tridimensionnelle des protéines et son ajustement induit par la liaison au ligand conditionnent leurs propriétés biologiques.</p> <p>L'équation de Scatchard permet de calculer la constante d'association entre un site récepteur et un ligand, ainsi que le nombre de sites récepteur par protéine.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Relier l'affinité et la stéréospécificité.</p> <p>Démontrer la relation de Scatchard. Déterminer la constante d'association et le nombre de sites récepteur par protéine à partir de données expérimentales.</p> <p>Commentaires La notion de constante d'équilibre est étudiée en physique-chimie. Seul le cas de l'interaction non coopérative est traité.</p>	S3
<p>1.2. Méthodes d'étude des protéines: de la purification à la caractérisation</p>		
<p>1.2.1. Méthodes d'extraction</p> <p>La méthode d'extraction est adaptée au matériel biologique de départ.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Choisir une technique d'extraction en fonction du cahier des charges.</p> <p>Commentaire Le principe de l'ultracentrifugation n'est pas à connaître.</p>	S1
<p>1.2.2. Méthodes de purification</p> <p>La structure et les propriétés des protéines sont le fondement des méthodes utilisées pour leur purification.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Utiliser les propriétés des protéines pour expliquer les principes des méthodes de purification. Justifier le choix d'une méthode en fonction du cahier des charges. Mettre en œuvre expérimentalement une méthode de purification.</p> <p>Commentaires Les principes des méthodes suivantes sont à connaître : - précipitations sélectives, - chromatographie d'exclusion-diffusion, - chromatographie d'échange d'ions, - chromatographie d'affinité, - chromatographie de chélation, - chromatographie d'interactions hydrophobes, - ultrafiltration et dialyse. Les groupements chimiques ionisés, polaires et apolaires ainsi que leurs interactions sont étudiés en physique-chimie.</p>	S1
<p>1.2.3. Suivi de purification</p> <p>Les aspects qualitatifs (contrôle de pureté) et quantitatifs sont des approches complémentaires pour suivre une purification.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Justifier le choix d'une méthode en fonction du cahier des charges. Exploiter des résultats expérimentaux qualitatifs permettant de conclure sur la pureté. Exploiter des données quantitatives de purification : calculs de</p>	S1

	<p>rendement et d'enrichissement. Mettre en œuvre expérimentalement une méthode de suivi de purification.</p> <p>Commentaires Les principes des méthodes suivantes sont à connaître : - SDS-PAGE, - focalisation isoélectrique, - western blot. Les calculs de rendement et d'enrichissement sont en lien avec le cours d'enzymologie (partie 21). La force de Coulomb est étudiée en physique-chimie. L'électrophorèse bidimensionnelle sera traitée en coordination avec les sciences de la vie et de la Terre. L'électrophorèse capillaire permettra de montrer l'adaptation d'un principe à l'évolution des techniques.</p>	
<p>1.2.4. Dosage par absorptiométrie moléculaire</p> <p>Le choix d'une méthode de dosage des protéines par absorptiométrie moléculaire repose sur son principe et ses qualités.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Justifier le choix d'une méthode en fonction du cahier des charges. Mettre en œuvre expérimentalement une méthode de dosage des protéines.</p> <p>Commentaires Les critères suivants sont à connaître : sensibilité, seuil de détection, spécificité, zone de linéarité, interférences, choix de la protéine de référence. Les principes des méthodes de dosage ne sont pas à connaître. L'absorptiométrie moléculaire est étudiée en physique-chimie</p>	S1

2- Enzymologie et génie enzymatique

L'étude des enzymes vise à souligner la spécificité de réaction et de substrat de ces biocatalyseurs. L'étude des cinétiques enzymatiques, la détermination des paramètres associés permettent de caractériser les mécanismes réactionnels, de mesurer les activités des enzymes et de mettre au point des dosages enzymatiques.

L'importance des effecteurs modulant l'activité enzymatique et les différents niveaux de régulation de celle-ci sont abordés afin d'illustrer la diversité des adaptations des métabolismes.

Les biotechnologies utilisent les enzymes dans diverses méthodes qui sont ici présentées et mises en relation avec le cahier des charges de l'expérimentation.

(Cours + 14 séances de TP-TD)

Thématiques	Compétences, limites et commentaires	
2.1. Catalyse et cinétique enzymatique		
<p>2.1.1. Catalyse enzymatique</p> <p>Les catalyseurs biologiques sont spécifiques et plus efficaces que les catalyseurs chimiques.</p> <p>La spécificité de réaction est à la base de la classification des enzymes.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Comparer les propriétés des catalyseurs biologiques et chimiques. Expliquer la catalyse enzymatique dans ses aspects structuraux et énergétiques.</p> <p>Identifier la classe de l'enzyme en fonction de la réaction qu'elle catalyse.</p> <p>Commentaires</p>	S2

	<p>Les mécanismes réactionnels classiques de chimie organique sont étudiés en physique-chimie.</p> <p>La catalyse chimique est étudiée en physique-chimie. Un lien est fait avec la catalyse enzymatique lors de l'étude des diagrammes « énergie potentielle=f(degré d'avancement de la réaction) »</p>	
2.1.2. Cinétiques enzymatiques		
<p>2.1.2.1. Cinétique enzymatique à un substrat des enzymes michaéliennes</p> <p>C'est la vitesse initiale d'une réaction enzymatique qui est utilisée pour étudier une cinétique enzymatique michaélienne.</p> <p>Cette cinétique est caractérisée par la constante de Michaelis et la vitesse initiale maximale.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une détermination de vitesse initiale.</p> <p>Expliquer le mode de détermination expérimentale des paramètres cinétiques.</p> <p>Déterminer les paramètres cinétiques à l'aide d'un modèle mathématique.</p> <p>Etablir l'équation de Michaelis et Menten.</p> <p>Commentaires</p> <p>L'utilisation des différentes modélisations n'impose pas que ces modèles soient sus.</p> <p>La cinétique chimique est étudiée en physique-chimie.</p> <p>L'approximation de l'état quasi-stationnaire est étudiée en physique-chimie.</p> <p>Des exemples de fonctions homographiques, dont la courbe représentative est une hyperbole présentant une asymptote, sont étudiés en mathématiques.</p>	S2
<p>2.1.2.2. Cinétique enzymatique à deux substrats des enzymes michaéliennes</p> <p>La confrontation des résultats expérimentaux à un modèle mathématique permet de déterminer le mécanisme réactionnel.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Schématiser un mécanisme à l'aide de la représentation de Cleland.</p> <p>Traiter des résultats expérimentaux d'une cinétique à deux variables selon la modélisation de Lineweaver et Burk.</p> <p>Confronter les représentations graphiques à un modèle mathématique de vitesse initiale dans le but de déterminer le mécanisme de la réaction.</p>	S3
<p>2.1.2.3. Effecteurs de la réaction enzymatique</p> <p>Les performances des enzymes dépendent de la température, du pH, de la présence d'effecteurs moléculaires (activateurs, inhibiteurs).</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Expliquer les liens entre la valeur de la vitesse initiale maximale et les conditions opératoires.</p> <p>Justifier le choix des conditions opératoires dans l'utilisation des enzymes au laboratoire.</p> <p>Expliquer comment mettre en œuvre expérimentalement une étude de l'activation thermique des enzymes et une cinétique de dénaturation thermique.</p> <p>Exploiter des résultats expérimentaux en vue de déterminer une énergie d'activation et une demi-vie d'enzyme à une température donnée.</p> <p>Identifier le paramètre cinétique modifié par un inhibiteur moléculaire pour en déduire le type d'inhibition.</p> <p>Commentaires</p> <p>La loi d'Arrhénius est étudiée en physique-chimie.</p> <p>La transformation de phénomènes exponentiels en phénomènes linéaires est étudiée en mathématiques.</p> <p>Des primitives de fonctions exprimées avec des logarithmes sont étudiées en mathématiques.</p>	S2
<p>2.1.2.4. Cinétiques allostériques et effecteurs allostériques</p>	<p>Ce qui est attendu</p>	S3

<p>On peut caractériser les enzymes allostériques par des études cinétiques.</p> <p>Les enzymes allostériques sont oligomériques.</p> <p>Les protomères existent sous deux états conformationnels avec des affinités différentes pour le substrat et les effecteurs dans les systèmes K.</p>	<p>Distinguer un activateur et un inhibiteur à partir des courbes $v_i = f([S]_i)$ et $v_i = f([\text{effecteur}])$.</p> <p>Distinguer les effets coopératifs homotropes et hétéotropes.</p> <p>Expliquer l'effet de coopérativité cinétique positive.</p> <p>Commentaire Seuls les systèmes K sont abordés</p>	
<p>2.1.3. Différents niveaux de régulation de l'activité enzymatique</p> <p>L'activité enzymatique est modulée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au niveau de l'expression génétique des enzymes, - par la modification covalente des enzymes, - par la présence d'effecteurs, - par des processus de dégradation protéique. <p>La multiplicité des régulations permet une adaptation du métabolisme.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Distinguer les niveaux de régulation de l'activité enzymatique sur une échelle de temps.</p> <p>Distinguer les effets qui dépendent de la quantité d'enzymes présentes des effets liés à la vitesse d'une réaction catalysée par une molécule d'enzyme.</p> <p>Reconnaître les différents niveaux de régulation de l'activité d'une enzyme de contrôle d'une voie métabolique.</p> <p>Commentaire L'intégration à l'échelle de l'organisme sera étudiée en coordination avec les sciences de la vie et de la Terre.</p>	S3
2.2. Dosage et utilisation des enzymes		
<p>2.2.1. Activité enzymatique</p> <p>L'activité catalytique traduit la quantité d'enzyme active.</p> <p>L'activité catalytique se détermine par une mesure de vitesse initiale.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Concevoir une démarche de détermination d'une activité adaptée au cahier des charges (choix d'une méthode de mesure, choix des conditions opératoires, choix des couplages éventuels).</p> <p>Calculer une activité enzymatique à partir de résultats expérimentaux.</p>	S3
<p>2.2.2. Utilisation des enzymes pour doser</p> <p>2.2.2.1. Les enzymes permettent de doser des substrats, en phase homogène, par méthode en point final ou par méthode cinétique, avec couplages éventuels.</p> <p>2.2.2.2. Les enzymes permettent de révéler un complexe antigène-anticorps dans le cadre de dosages immunoenzymatiques en phase hétérogène.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Justifier une méthode de dosage enzymatique d'un substrat adaptée au cahier des charges.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement un dosage de substrat.</p> <p>Calculer la concentration d'un substrat à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>Présenter, sous forme schématique, les différents types de dosages immunoenzymatiques.</p> <p>Expliquer les différentes étapes d'un mode opératoire.</p> <p>Relier l'allure de la courbe de dosage au principe de la méthode.</p>	S3
<p>2.2.3. Immobilisation des enzymes</p> <p>2.2.3.1. Les enzymes peuvent être immobilisées selon différentes techniques. Elles sont alors stabilisées et réutilisables. Certaines de leurs</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Comparer les différentes méthodes pour en choisir une en fonction du cahier des charges (perte physique, modification des paramètres cinétiques).</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une méthode</p>	S3

propriétés sont modifiées. 2.2.3.2. Les enzymes immobilisées sont utilisées dans des réacteurs industriels (BSTR, CSTR, PFR).	d'immobilisation d'enzyme. Utiliser la méthode des bilans pour optimiser le fonctionnement d'un réacteur alimenté. Choisir un réacteur en fonction des propriétés de l'enzyme et du substrat. Commentaires Des primitives de fonctions exprimées avec des logarithmes sont étudiées en mathématiques. La méthode des bilans utilisée en physique-chimie sera réinvestie.	
--	---	--

3- Microbiologie et génie microbiologique

La diversité des types trophiques des micro-organismes leur permet de s'adapter à de multiples environnements et en fait des acteurs essentiels des écosystèmes.

L'étude de leur métabolisme énergétique illustre l'importance de leur position dans l'assimilation de diverses sources nutritionnelles et énergétiques, dans les transformations de la matière.

Les biotechnologies utilisent les micro-organismes, que ce soit en génie génétique, pour modifier des expressions de gènes, en génie fermentaire, pour fabriquer et transformer des bioproduits, en génie environnemental, pour dégrader des polluants. Ces utilisations nécessitent que soit connues l'identité du micro-organisme ainsi que ses conditions de culture en laboratoire, afin que son développement puisse être mesuré et contrôlé.

(Cours + 16 séances TP-TD).

Thématiques	Compétences, limites et commentaires	
3.1. Physiologie des micro-organismes et environnement		
3.1.1. Diversité des métabolismes chez les micro-organismes		
Le métabolisme des micro-organismes dépend des sources d'énergie, de pouvoir réducteur, de matière. Grâce à leur diversité physiologique, les bactéries se sont implantées dans tous les biotopes et jouent un rôle clé dans tous les écosystèmes.	Ce qui est attendu Montrer l'universalité des besoins en énergie et en matière de tout organisme vivant. Relier la diversité des besoins en énergie et en matière aux types trophiques, donc à l'équipement enzymatique/génome.	S2
3.1.2. Métabolisme énergétique des micro-organismes		
3.1.2.1. ATP et gradient électrochimique de cations L'ATP et le gradient électrochimique de cations sont les deux intermédiaires énergétiques majeurs et sont interconvertibles. L'ATP est produit par phosphorylation au niveau du substrat ou grâce à une ATP synthase.	Ce qui est attendu Expliquer le rôle central de l'ATP dans le métabolisme énergétique. Distinguer les couplages chimio-chimique et chimio-osmotique. Expliquer le fonctionnement de l'ATP synthase d'un point de vue structural et énergétique.	S2

	<p>Commentaires</p> <p>Les aspects thermochimiques et d'oxydo-réduction sont étudiés en physique-chimie.</p> <p>Les aspects énergétiques liés au transfert d'un cation à travers une membrane présentant une ddp transmembranaire sont étudiés en physique-chimie.</p>	
<p>3.1.2.2. Chaînes de transporteurs d'électrons</p> <p>Les chaînes de transporteurs d'électrons présentent une unité dans leur diversité. C'est leur fonctionnement qui permet l'établissement d'un gradient électrochimique de cations.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Repérer les types de transporteurs (électrons / électrons-cations) dans une chaîne de transporteurs membranaires. Identifier le donneur primaire et l'accepteur final de la chaîne de transporteurs en tant que consommables. Réaliser le bilan énergétique d'une chaîne de transporteurs d'électrons.</p>	S2
<p>3.1.2.3. Micro-organismes chimiorganotrophes</p> <p>Les micro-organismes chimiorganotrophes utilisent une source organique d'électrons. Leurs voies métaboliques produisent des coenzymes réduits. Les respirations et les fermentations se distinguent classiquement par les voies de réoxydation des coenzymes réduits. L'éthanol et l'acide lactique sont des produits de fermentation utiles en industrie agro-alimentaire.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Ecrire les bilans moléculaire et énergétique de la glycolyse (voie EMP). Etablir les bilans moléculaire et énergétique du cycle de Krebs à partir d'un schéma du cycle. Expliquer, à partir d'un schéma, le rôle du cycle de Krebs comme carrefour métabolique entre anabolisme et catabolisme. Comparer deux exemples de respiration chez les chimiorganotrophes en fonction des potentiels redox des donneurs et des accepteurs d'électrons, en termes de rendement et d'influence sur le biotope. Ecrire les bilans moléculaire et énergétique des fermentations homoéthanolique et homolactique à partir du glucose. Comparer deux exemples de fermentation chez les chimiorganotrophes en fonction des potentiels redox des donneurs et des accepteurs d'électrons, en termes de rendement et d'influence sur le biotope. Citer des applications industrielles associées aux fermentations alcoolique et lactique. Etablir les bilans moléculaire et énergétique à partir d'une voie métabolique complète et montrer que le bilan en coenzymes est nul.</p>	S2
<p>3.1.2.4. Micro-organismes chimolithotropes</p> <p>Les micro-organismes chimolithotropes utilisent une source inorganique d'électrons pour produire un gradient électrochimique de cations et des coenzymes réduits.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Comparer deux exemples de production d'énergie chez les chimolithotropes en fonction des potentiels redox des donneurs et des accepteurs d'électrons, en termes de rendement et d'influence sur le biotope. Commentaire Dans certains cas, la production des coenzymes réduits est rendue possible par la dissipation d'un gradient électrochimique de cations.</p>	S2
<p>3.1.2.5. Micro-organismes phototrophes</p> <p>Les micro-organismes phototrophes utilisent une source d'énergie lumineuse pour produire un gradient</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Comparer deux exemples de photosynthèse bactérienne en fonction des potentiels redox des donneurs et des accepteurs d'électrons, de la nature des pigments, du nombre de photosystèmes, en termes d'influence sur le biotope.</p>	S2

électrochimique de cations et des coenzymes réduits.	<p>Commentaire</p> <p>Dans certains cas, la production des coenzymes réduits est rendue possible par la dissipation d'un gradient électrochimique de cations.</p>	
3.1.3. Ecologie microbienne		
<p>Les micro-organismes interviennent dans les cycles du carbone et de l'azote.</p> <p>Les micro-organismes participent aux interconversions matière minérale-matière organique.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Distinguer le métabolisme énergétique et l'anabolisme dans les cycles de la matière.</p> <p>Positionner, sur les cycles de la matière, le type trophique bactérien intervenant à chaque étape.</p> <p>Distinguer autotrophie et hétérotrophie.</p> <p>Commentaires</p> <p>La place des micro-organismes dans le cycle du carbone est réinvestie en sciences de la vie et de la Terre.</p> <p>L'autotrophie vis-à-vis du carbone permet d'étudier le cycle de Calvin.</p> <p>L'utilisation de la diversité des types trophiques peut être illustrée dans le traitement des eaux usées.</p>	S3
3.2. Identification et culture des micro-organismes		
3.2.1. Identification des bactéries		
<p>L'identification des bactéries à l'espèce passe par des étapes d'observations microscopiques et des études du phénotype métabolique. Ces études sont interprétées selon une méthode statistique.</p> <p>Le typage moléculaire permet également d'identifier des bactéries.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Utiliser la taille, la mobilité, la forme, le mode de groupement, la richesse relative et les résultats de coloration pour décrire un micro-organisme.</p> <p>Relier les structures pariétales bactériennes à l'action de la coloration de gram.</p> <p>Suivre une démarche d'identification à l'aide de documents.</p> <p>Interpréter des résultats d'identification statistique.</p> <p>Interpréter des résultats expérimentaux de typage moléculaire à l'aide de documents.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement des examens microscopiques de cellules vivantes et de frottis après coloration.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une démarche d'identification</p> <p>Commentaires</p> <p>Aucune galerie n'est à connaître.</p> <p>Les tests d'hypothèses, utilisés en identification probabiliste, sont étudiés en mathématiques.</p> <p>L'étude du typage moléculaire se limitera au seul typage standardisé MLST (MultiLocus Sequence Typing).</p>	S1 S2 S4
3.2.2. Nutrition, culture, quantification et croissance des micro-organismes		
3.2.2.1. Milieux de culture et culture des bactéries	Ce qui est attendu	S1
<p>La connaissance des besoins nutritionnels des bactéries permet de concevoir des milieux appropriés et de mettre en place des conditions de culture adaptées.</p> <p>Les milieux de culture peuvent être</p>	<p>Choisir un milieu de culture en fonction des caractéristiques des micro-organismes à cultiver et de l'objectif suivi (enrichissement, isolement, identification, production) à l'aide de documents.</p> <p>Choisir les conditions de culture en fonction des caractéristiques</p>	

<p>non sélectifs, sélectifs, différentiels.</p> <p>L'isolement des bactéries permet d'obtenir des souches pures en culture.</p>	<p>des micro-organismes à cultiver et de l'objectif suivi (enrichissement, identification, production) à l'aide de documents.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement des cultures bactériennes : isolement, enrichissement, sélection...</p> <p>Commentaire Aucun milieu exigible sans document, aucun mode d'action d'agent sélectif à connaître sans document.</p>	
<p>3.2.2.2. Quantification des micro-organismes</p> <p>Il est important de savoir quantifier une population microbienne.</p> <p>De nombreuses techniques permettent de quantifier une population microbienne : dénombrements directs en cellule à numération, par mise en culture, par opacimétrie, par bioluminescence.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Choisir une technique de dénombrement en fonction du cahier des charges.</p> <p>Interpréter des résultats de dénombrements à l'aide de documents.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement des techniques de dénombrement.</p> <p>Commentaire Les méthodes automatisées seront évoquées à partir d'une documentation.</p>	S1
<p>3.2.2.3. Croissance des micro-organismes</p> <p>La croissance des micro-organismes unicellulaires en milieu liquide non renouvelé permet de caractériser leur taux de croissance.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Calculer les paramètres cinétiques de croissance à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>Analyser des courbes d'inhibition de croissance et différencier bactériostase et bactéricidie.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une croissance bactérienne.</p> <p>Commentaire Le logarithme népérien est étudié en mathématiques.</p>	S1
<p>3.2.3. Génie fermentaire</p>		
<p>3.2.3.1. Culture en fermenteur, en milieu non renouvelé</p> <p>Le fermenteur de laboratoire permet la culture des micro-organismes : c'est une enceinte protégée des contaminations, agitée, chauffée et aérée, dans laquelle les paramètres physico-chimiques (température, pH, pO₂) sont contrôlés et régulés.</p> <p>Des analyses quantitatives en ligne et hors ligne des variables de la culture peuvent être réalisées : biomasse, substrats et produits, pH, température, pO₂.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Calculer à partir de données expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des vitesses de consommation de substrat et de production de produit, - des valeurs de rendement de conversion d'un substrat en biomasse, - des valeurs de rendement de conversion d'un substrat en produit, - des valeurs de productivités volumiques horaires. <p>Interpréter le résultat de ces calculs.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une culture de micro-organismes en milieu non renouvelé dans un bioréacteur.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement un suivi de culture de micro-organismes en milieu non renouvelé dans un bioréacteur.</p> <p>Exploiter des résultats de suivi de culture, notamment par HPLC et CPG.</p> <p>Commentaire Le principe de fonctionnement des électrodes n'est pas à connaître.</p>	S3
<p>3.2.3.2. Culture en milieu renouvelé</p> <p>L'utilisation de milieux renouvelés permet de perpétuer la croissance des micro-organismes.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Comparer les cultures en milieux non renouvelé et renouvelés (fed batch, chemostat et turbidostat) du point de vue de leurs applications et de leurs contraintes.</p> <p>Commentaires Aucun calcul sur la croissance en milieu renouvelé n'est à maîtriser.</p>	S3

	Se limiter à la relation entre taux de croissance et taux de renouvellement. La méthode des bilans utilisée en physique-chimie sera réinvestie.	
3.2.3.3. Applications du génie fermentaire La culture des micro-organismes en bioréacteurs permet la bioproduction, la bioconversion et la biodégradation.	Ce qui est attendu Comparer les conditions de culture à mettre en œuvre selon le cahier des charges de la fermentation. Analyser des résultats de bioproduction pour distinguer métabolites primaires et secondaires. Commentaires Cette approche sera abordée à l'aide d'une documentation. Un exemple explicite de production d'antibiotiques sera étudié en travaux dirigés.	S3

4- Biologie moléculaire et génie génétique

L'organisation et l'expression des gènes sont étudiées dans le programme de SVT.

L'étude du génome et du transcriptome, dont le développement s'est accompagné d'une exceptionnelle diversification de techniques, est à la base de multiples applications donnant accès à de nombreuses informations.

La structure des acides nucléiques est ici étudiée afin de comprendre sur quelles bases structurales se fondent la réplication in vivo, l'amplification in vitro, le séquençage et l'hybridation.

L'ADN, extrait et purifié, peut être introduit dans des vecteurs, transférés dans des hôtes biologiques en vue de son stockage, de son amplification ou de son expression, autant de techniques dont les applications concernent désormais des domaines très variés touchant les domaines de la santé, de l'alimentation, de l'environnement.

(Cours + 12 séances TP-TD)

Thématiques	Compétences, limites, commentaires	
4.1. Structure des acides nucléiques		
4.1.1. Structure primaire Les acides nucléiques sont composés de nucléotides reliés par une liaison phosphodiester.	Ce qui est attendu Représenter la structure générique d'un nucléotide. Reconnaître les bases puriques et pyrimidiques. Relier l'effet mésomère aux propriétés spectrales des bases azotées. Représenter une liaison phosphodiester.	S2
4.1.2. Structures tridimensionnelles Les structures tridimensionnelles des acides nucléiques reposent sur des liaisons faibles. Elles peuvent concerner une ou deux chaînes nucléotidiques. Il existe des conditions physico-chimiques qui provoquent la dénaturation des acides nucléiques. Le compactage de l'ADN permet son stockage et la modulation de son	Ce qui est attendu Représenter les interactions entre bases complémentaires et successives. Relier la stabilité d'une structure double-brin à son pourcentage en GC, à sa taille et aux conditions physico-chimiques du milieu. Expliquer l'effet hyperchrome. Commentaires	S2

<p>expression. Il impose des contraintes lors de la réplication.</p> <p>Les ARN présentent une grande diversité structurale et fonctionnelle.</p>	<p>Un lien sera fait avec le cours sur les protéines. Le lien entre degré de compactage et expression sera exploité en SVT.</p> <p>La diversité structurale des ARN sera abordée à l'aide d'une documentation.</p> <p>Les propriétés fonctionnelles des ARN seront développées en sciences de la vie et de la Terre.</p>	
<p>4.2. Réplication et amplification de l'ADN</p>		
<p>4.2.1. Réplication</p> <p>La réplication est un processus qui permet de doubler le matériel génétique d'une cellule.</p> <p>Son mécanisme présente des similitudes chez les procaryotes et les eucaryotes.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Représenter le mécanisme de la réplication :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'ajout d'un nucléotide à une chaîne nucléotidique en formation. - l'œil de réplication distinguant brins précoce et retardé. <p>Distinguer les rôles des différentes enzymes mises en jeu et les positionner sur un schéma simplifié de fourche de réplication.</p>	S3
<p>4.2.2. Amplification <i>in vitro</i></p> <p>L'ADN peut être considérablement amplifié <i>in vitro</i> par PCR.</p> <p>Il existe différentes techniques d'amplification.</p> <p>Les conditions expérimentales (température d'hybridation, composition du milieu réactionnel, choix des amorces) sont adaptées aux objectifs visés.</p> <p>Les applications de la PCR concernent des domaines de plus en plus nombreux.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Associer les trois températures d'un cycle thermique aux trois étapes d'un cycle PCR.</p> <p>Schématiser les premiers cycles d'une PCR aboutissant à un amplicon.</p> <p>Utiliser les critères de choix (position, longueur, Tm) des amorces pour en sélectionner un couple.</p> <p>Choisir une méthode de PCR en fonction de l'objectif.</p> <p>Exploiter des résultats expérimentaux de PCR et de RT-PCR quantitatives</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une PCR en point final.</p>	S3
<p>4.3. Outils, techniques, applications du génie génétique</p>		
<p>4.3.1. Extraction et purification des acides nucléiques</p> <p>L'extraction et la purification des acides nucléiques sont des étapes essentielles dans une démarche de génie génétique.</p> <p>La purification des acides nucléiques est contrôlée par spectrophotométrie et par électrophorèse.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Justifier les différentes étapes d'un protocole d'extraction / purification d'ADN génomique, plasmidique ou d'ARN.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une extraction / purification d'ADN génomique.</p> <p>Mettre en œuvre expérimentalement une extraction / purification d'ADN plasmidique.</p> <p>Justifier le choix d'une méthode électrophorétique.</p> <p>Exploiter des résultats expérimentaux pour conclure quant à la qualité de la purification.</p> <p>Mettre en œuvre un contrôle de purification d'ADN plasmidique utilisant une restriction.</p> <p>Commentaire</p> <p>Les principes généraux des méthodes suivantes sont à connaître :</p> <ul style="list-style-type: none"> - électrophorèse en gel d'agarose, - PAGE, 	S2

	- électrophorèse en champs pulsé.	
<p>4.3.2. Hybridation moléculaire</p> <p>L'hybridation moléculaire a de nombreuses applications : PCR, puces, blotting, séquençage.</p> <p>La stringence participe à la spécificité de l'hybridation.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Classer des milieux d'hybridation en fonction de leur stringence. Justifier un protocole de lavage en blotting et en puce.</p>	S4
<p>4.3.3. Séquençage de l'ADN</p> <p>L'approche génomique repose sur l'évolution des méthodes de séquençage.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Schématiser les étapes du séquençage par la méthode de Sanger.</p> <p>Schématiser les étapes d'une méthode de séquençage à partir d'une documentation.</p> <p>Commentaires</p> <p>Le principe général de l'électrophorèse capillaire est à connaître. La diversité des techniques sera illustrée à l'aide d'exemples.</p>	S4
<p>4.3.4. Génie génétique</p> <p>L'ADN est cloné à l'aide de vecteur de clonage.</p> <p>L'ADN est introduit par transfection dans des cellules procaryotes ou eucaryotes.</p> <p>Des protéines recombinantes peuvent être produites à l'aide de vecteurs d'expression.</p> <p>Les banques d'ADN représentent un génome ou un transcriptome complets.</p> <p>Différentes techniques permettent leur criblage.</p>	<p>Ce qui est attendu</p> <p>Justifier les différents caractères portés par un vecteur plasmidique.</p> <p>Choisir un vecteur en fonction du cahier des charges (clonage, navette, expression).</p> <p>Schématiser les grandes étapes d'un clonage chez un procaryote.</p> <p>Schématiser les grandes étapes d'obtention d'une banque génomique.</p> <p>Schématiser les grandes étapes d'obtention d'une banque d'ADNc.</p> <p>Comparer l'intérêt des banques génomique et plasmidique.</p> <p>Comparer les banques plasmidiques et les banques phagiques.</p> <p>Choisir un outil de criblage adapté au type de banque.</p> <p>Commentaire</p> <p>La transgénèse (animale et végétale) est abordée à l'aide d'une documentation.</p>	S4

ANNEXE 2

Projet de programme de mathématiques TB2

Préambule

Objectif de la formation

En classe de TB2 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 (TB1), et sont consolidées en seconde année :

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

D'autres constituent des objectifs plus spécifiquement approfondis en seconde année, dans la perspective du 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 TB2 approfondit celui de TB1 et introduit de nouvelles notions, ce qui se traduit par les enjeux suivants :

- Consolider les acquis mathématiques de TB1, notamment en matière de calcul et raisonnement. Par souci de clarté, il a été choisi de numéroter de manière compatible les têtes de chapitre des programmes de TB1 et de TB2.
- Généraliser les concepts introduits en TB1 en augmentant la taille et la complexité des objets étudiés.
- Mettre un accent particulier sur la notion de modélisation, où se confrontent les mathématiques et les autres sciences ; cela peut notamment se concrétiser dans les exemples proposés en cours ou en travaux dirigés, ou 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 du 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 (comme la justification de la convergence d'une série ou d'une intégrale impropre), restent

relativement simples, l'objectif n'étant pas ici d'aboutir à une quelconque virtuosité technique. On attend, en la matière, une bonne maîtrise des calculs, concepts et théorèmes mathématiques, dans des situations simples et ordinaires, sans pour autant négliger les compétences 1, 2, 3, 4 et 6.

Contenu

Probabilités

Les probabilités, abordées en première année (TB1) et étudiées selon différentes modalités depuis la classe de troisième, comportent plusieurs aspects.

- ▷ Un approfondissement des notions vues en TB1 : reprise des techniques élémentaires et des raisonnements vus en TB1, et développement de ceux-ci, motivant l'introduction d'outils comme les séries ou les intégrales impropres. Le but n'est pas d'étudier ces objets pour eux-mêmes ; pour ce qui concerne les variables aléatoires à densité, on ne manipule essentiellement que des variables aléatoires à valeurs positives, exception faite de la loi normale.
- ▷ Une importante connexion avec la notion de modélisation : modélisation par des événements, des probabilités conditionnelles, des lois classiques.
- ▷ Une reprise des résultats présentés en classe terminale. Afin de faciliter le travail de l'étudiant dans l'assimilation des connaissances, on reprend ces résultats tels qu'ils sont formulés dans les programmes de classe terminale.

Algèbre linéaire

Dans une démarche d'extension typique des mathématiques, l'algèbre linéaire est étendue en abordant la notion générale d'espace vectoriel sur \mathbf{R} ou \mathbf{C} et la dimension finie est envisagée dans sa généralité (les espaces vectoriels présentés en cours pouvant être de dimension $n \geq 4$).

On commence par développer un point de vue « intrinsèque » des applications linéaires avant d'aborder la notion générale de représentation d'un endomorphisme par une matrice dans une base quelconque, visant essentiellement la diagonalisation des matrices ou endomorphismes en dimension restreinte (4 au plus).

En géométrie euclidienne les notions de produit scalaire et de projection orthogonale préparent à l'analyse de données statistiques en grande dimension, qui pourra être abordée dans la poursuite d'études.

Analyse

L'analyse de TB1 est consolidée pendant l'année de TB2. De nouveaux éléments sont introduits (séries et intégrales impropres), qui pour la plupart trouvent leur cadre naturel dans le contexte des probabilités. Par ailleurs, les développements limités (abordés comme outil) permettent d'approfondir l'étude des fonctions et fournissent des exemples d'approximation. Enfin, une première approche des équations différentielles non linéaires permet d'enrichir les liens interdisciplinaires.

La recherche d'hypothèses minimales, tant dans les théorèmes que dans les exercices et problèmes n'est pas un objectif de ce programme.

Les travaux dirigés

Comme en première année, un certain nombre de thématiques, exercices et domaines d'application sont proposés pour aider les étudiants à assimiler les concepts fondamentaux. Ces démarches doivent avoir été pratiquées au cours de l'année ; toutefois, les travaux dirigés ne définissent pas de connaissances supplémentaires exigibles lors des épreuves de concours.

Mathématiques pratiques

Le calcul effectif se fait le plus souvent, aujourd'hui, au moyen d'outils de calcul (logiciel, langage de programmation ou calculatrice), ce qu'il est prévu d'évaluer dans l'oral du concours, où une place importante est faite au calcul numérique et aux représentations graphiques.

Lorsqu'il a paru possible au cours d'un chapitre de mettre en valeur les notions d'approximation, de valeur approchée ou de représentation graphique, on a employé le symbole \triangle . Aucune connaissance spécifique sur tel ou tel instrument de calcul (logiciel ou calculatrice) n'est exigible.

Les notions d'algorithmes et de programmation figurant dans le programme d'informatique peuvent intervenir dans les épreuves de mathématiques ; les algorithmes pourront être rédigés soit en langage naturel soit en recourant au langage utilisé pour l'enseignement de l'informatique.

Comme en première année, les situations permettant de mettre en évidence des liens avec les autres enseignements scientifiques sont signalées par un symbole \rightleftharpoons . Ces questions sont susceptibles de fournir le cadre d'une épreuve écrite ou orale de mathématiques, mais aucune connaissance spécifique n'est exigible à leur sujet.

Programme de seconde année

La répartition en chapitres proposée ci-dessous 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.

Outils et calculs

Les compléments présentés dans ce chapitre sont essentiellement destinés aux probabilités discrètes.

Exemple de capacité : calculer avec des symboles de sommes.

Contenus	Commentaires
Reprise et extension des règles de calcul sur le symbole \sum .	Changements d'indices (translations et symétries), télescopages.
Sommes doubles du type $\sum_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq p}} a_{i,j} = \sum_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{1 \leq j \leq p} a_{i,j} \right)$.	Les attendus du programme concernant les sommes doubles se limitent au maniement des sommations du type indiqué.

Travaux dirigés

Exercices sur le programme de première année et sur les maniements de sommes.

Algèbre linéaire 3 – Espaces vectoriels

On reprend les notions vues en première année et on les étend à l'espace vectoriel \mathbf{R}^n ($n \geq 4$) sur \mathbf{R} , puis à tout espace vectoriel sur le corps K (K étant égal à \mathbf{R} ou \mathbf{C}), de dimension finie. L'utilisation d'espaces vectoriels de dimension infinie n'est pas un objectif du programme.

Exemples de capacités : Démontrer le caractère libre, lié, générateur d'une famille finie de vecteurs ; trouver une base d'un espace vectoriel ; déterminer la dimension d'un sous-espace vectoriel ; calculer le rang d'une famille.

Contenus	Commentaires
Structure d'espace vectoriel.	Les espaces vectoriels suivants doivent être vus à titre d'exemples : K^n , $\mathbf{R}_n[X]$ l'espace des fonctions polynômes de degré inférieur ou égal à n , $\mathcal{L}(E, F)$, $\mathcal{M}_{n,p}(K)$.
Sous-espaces vectoriels. Sous espace vectoriel engendré par une famille finie de vecteurs.	On utilise la notation $\text{Vect}(x_1, x_2, \dots, x_k)$.
Intersection de sous-espaces vectoriels.	
Familles finies de vecteurs, familles génératrices d'un sous-espace vectoriel.	
Familles libres finies, familles liées finies.	
Bases et dimension d'un espace vectoriel, d'un sous-espace vectoriel.	On admet que pour qu'une famille de p vecteurs d'un espace E soit une base de E il suffit que deux des propositions suivantes soit vérifiées : <ul style="list-style-type: none">– la famille est génératrice– la famille est libre– la dimension de E est égale à p.

Contenus (suite)	Commentaires
Composantes d'un vecteur dans une base. Base canonique de K^n . Si F est un sous-espace vectoriel de E , alors la dimension de F est inférieure ou égale à la dimension de E . Si les deux dimensions sont égales, alors $F = E$. Rang d'une famille finie de vecteurs.	Matrice d'une famille de vecteurs dans une base. L'étude des matrices proprement dite est abordée plus loin (Algèbre linéaire 6).

Travaux dirigés

Calcul du rang de familles finies de vecteurs au moyen de la méthode du pivot de Gauss.
 Quelques exemples et exercices illustrant l'espace $\mathbf{R}_n[X]$ en tant qu'un espace vectoriel muni d'une base canonique.

Algèbre linéaire 5 – Applications linéaires

Exemples de capacités : démontrer et exploiter la linéarité d'une application ; déterminer si une application linéaire est injective ou surjective ; déterminer un noyau et une image.

Contenus	Commentaires
a) Définition, opération, noyau et image Applications linéaires, endomorphismes, isomorphismes. Opérations : addition, multiplication par un scalaire, composition, réciproque. Noyau, ensemble image, rang d'une application linéaire.	Structure d'espace vectoriel de $\mathcal{L}(E, F)$. On établit le lien entre le noyau et l'injectivité.
b) Application linéaire et dimension finie Caractérisation des isomorphismes entre deux espaces vectoriels de dimension finie par l'image d'une base. Théorème du rang : $\dim \text{Im} f + \dim \text{Ker} f = \dim E$.	Relation admise.

Travaux dirigés

Utilisation du théorème du rang.

Algèbre linéaire 6 – Matrices à coefficients dans \mathbf{R} et \mathbf{C}

Exemples de capacités : obtenir la matrice d'un endomorphisme dans une base donnée ; déterminer un noyau et une image ; opérer un changement de base.

Contenus	Commentaires
a) Représentation par des matrices Matrice représentative d'une famille de vecteurs dans une base. Matrice d'un endomorphisme, une base ayant été choisie dans l'espace vectoriel E .	On revoit la notion de matrice représentative d'une application linéaire de \mathbf{R}^n dans \mathbf{R}^p en base canonique, et on les étend à toute matrice d'un endomorphisme d'un espace vectoriel E de dimension finie n . La notion de matrice représentative d'une application linéaire dans un couple de bases n'est pas un attendu du programme.
b) Changements de base	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Changement de base, matrices de passage.</p> <p>Effet d'un changement de base sur la matrice des composantes d'un vecteur, sur la matrice d'un endomorphisme.</p>	<p>On met en évidence la signification de l'inverse de la matrice de passage.</p>
<p>c) Rang d'une matrice</p> <p>Rang d'une matrice.</p> <p>Formule $rg(A) = rg({}^tA)$.</p> <p>Le rang d'une matrice est le rang du système associé.</p>	<p>Le rang d'une matrice est la dimension de l'espace engendré par une famille de vecteurs représentée par la matrice, et ne dépend pas de la famille envisagée.</p> <p>Relation admise.</p> <p>Inversement, étant donné un système d'équations linéaires, le rang du système est égal au rang de la matrice associée.</p>
<p>d) Noyau, image d'une matrice</p> <p>Interprétation d'une matrice carrée de taille n comme endomorphisme de K^n (muni de la base canonique).</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>

Travaux dirigés

Exercices sur le programme de première année.
Exemples de matrices représentatives simples d'applications linéaires.
Mise en pratique de démarches de changement de base.
Manipulation d'applications linéaires définies sur $\mathbf{R}_n[X]$.

Algèbre linéaire 7 – Géométrie euclidienne dans \mathbf{R}^n

Ce chapitre propose une extension très modeste des notions de géométrie euclidienne à l'espace euclidien de dimension n , avec la mise en place d'un résultat fondamental pour les applications, la projection orthogonale sur un sous-espace. Dans ce chapitre, les mots « vecteur » et « point » peuvent être considérés comme interchangeables.

Exemples de capacités : calculer une projection orthogonale, une plus courte distance ; utiliser une base orthonormale adaptée à un problème.

Contenus	Commentaires
<p>a) Produit scalaire dans \mathbf{R}^n</p> <p>Produit scalaire usuel (ou canonique) dans \mathbf{R}^n.</p> <p>Norme euclidienne.</p> <p>Vecteurs orthogonaux.</p> <p>Bases orthonormales de \mathbf{R}^n.</p>	<p>On peut faire observer qu'une famille de vecteurs tous non nuls et deux à deux orthogonaux est libre.</p> <p>On souligne le fait que le produit scalaire canonique et la norme euclidienne sont indépendants de la base orthonormale choisie.</p> <p>La matrice de passage P de la base canonique à une base orthonormale vérifie ${}^tPP = I_n$.</p>
<p>b) Projection orthogonale</p> <p>Distance entre deux vecteurs (ou points).</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.</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
Existence et unicité de la projection orthogonale p sur un sous-espace de \mathbf{R}^n . Application : distance d'un vecteur à un sous-espace de \mathbf{R}^n .	On admet qu'il est possible de trouver une base orthonormale du sous-espace F . Écriture de la projection orthogonale dans une base orthonormale de F . Interprétation en tant que démarche d'optimisation ou de meilleure approximation ; en exemple, on peut interpréter l'ajustement affine (régression linéaire) comme une projection sur un sous-espace de dimension 2.

Travaux dirigés

Exercices sur le programme de première année.

Calcul de projections orthogonales dans différents contextes (une base orthonormale adaptée étant fournie).

Algèbre linéaire 8 – Valeurs propres et vecteurs propres

Exemples de capacités : déterminer les éléments propres d'une matrice ou d'un endomorphisme ; diagonaliser une matrice, un endomorphisme.

Contenus	Commentaires
a) Éléments propres Valeurs propres d'un endomorphisme d'un espace de dimension inférieure ou égale à 4. Valeurs propres et vecteurs propres d'une matrice carrée de dimension inférieure ou égale 4.	La recherche pratique des valeurs et vecteurs propres conduit le plus souvent à l'étude d'un système linéaire homogène. On rappelle à ce sujet que les déterminants de taille supérieure à 2 sont hors-programme.
b) Diagonalisation des matrices et des endomorphismes Endomorphisme diagonalisable, matrice diagonalisable. Sous-espaces propres d'un endomorphisme. La somme des dimensions des sous-espaces propres est inférieure ou égale à la dimension de E . Un endomorphisme est diagonalisable si et seulement si la somme des dimensions de ses sous-espaces propres égale la dimension de E . Toute matrice symétrique réelle de taille inférieure ou égale à 4 est diagonalisable, la matrice de passage P vérifiant $P^{-1} = {}^tP$.	Il est ici commode de rappeler l'identification d'une matrice carrée à un endomorphisme de K^n , évitant les répétitions inutiles. Résultat admis. Résultat admis. On met en valeur les relations matricielles ${}^tPAP = D$ et ${}^tPP = I$.

Travaux dirigés

Exemples de détermination de valeurs propres, et vecteurs propres.

Exemples d'étude de matrices carrées réelles admettant des valeurs propres complexes.

Exemples élémentaires de diagonalisation.

△ Utilisation d'un logiciel pour simplifier les aspects techniques du calcul matriciel, notamment en ce qui concerne le calcul des puissances et inverses des matrices carrées.

⇒ Exemples de calculs de puissances d'une matrice issus de situations itératives en biologie des populations, en probabilités.

⇒ Application à l'étude de certaines suites apparaissant dans des situations issues des probabilités, des sciences biologiques : suites définies par une récurrence linéaire du type $u_{n+1} = au_n + bu_{n-1}$ ($a, b \in \mathbf{R}$), ou suites récurrentes linéaires « croisées ».

Analyse 3 – Dérivation et développements limités

Ce chapitre élargit certains concepts vus en première année en introduisant les dérivées n -èmes et les développements limités à l'ordre n .

Exemples de capacités : rechercher un développement limité pour une fonction simple ; manipuler des équivalents pour calculer une limite ; mener une démarche d'approximation.

Contenus	Commentaires
<p>a) Limites de fonctions et équivalents Théorème de la limite monotone pour les fonctions. Fonctions équivalentes, notation $f \underset{a}{\sim} g$.</p> <p>L'équivalence est compatible avec la multiplication, la division et l'élévation à une puissance constante. Utilisation des équivalents pour la recherche de limites. Si la suite (u_n) tend vers a, et deux fonctions f et g sont définies et équivalentes au voisinage de a alors $f(u_n) \sim g(u_n)$.</p>	<p>On se limite aux fonctions ne s'annulant pas sur un intervalle de la forme $]a, b[$ ou $]b, a[$. Le développement reste modeste et se limite aux fonctions qui ne s'annulent pas au voisinage du point de référence.</p>
<p>b) Dérivées n-èmes Fonction n fois dérivable en un point ou sur un intervalle, dérivée n-ème d'une fonction.</p> <p>Fonction de classe $\mathcal{C}^n, \mathcal{C}^\infty$.</p>	<p>On peut revoir à cette occasion plusieurs études de fonctions. ⇒ Lien avec la cinématique du point matériel : vitesse, accélération. La formule de Leibniz est hors-programme.</p>
<p>c) Développements limités au voisinage de 0. Définition de la notation $o(x^n)$ pour désigner des fonctions négligeables devant la fonction $x \mapsto x^n$, pour $n \in \mathbf{Z}$ et au voisinage de 0 ou de l'infini. Définition des développements limités en 0.</p> <p>Interprétation des développements limités d'ordre 1 et 2 (ou plus si nécessaire) en termes de position relative entre tangente et courbe. Opérations sur les développements limités : somme, produit.</p> <p>Primitivation d'un développement limité. Développements limités de $x \mapsto \frac{1}{1-x}$, $x \mapsto \ln(x+1)$ et \exp.</p> <p>Formule de Taylor-Young : existence d'un développement limité à l'ordre n pour une fonction de classe \mathcal{C}^n.</p> <p>Développements limités usuels au voisinage de zéro des fonctions : \cos, \sin et $x \mapsto (1+x)^\alpha$ où α est un réel.</p>	<p>On se ramène, aussi souvent que nécessaire, à la limite d'un quotient.</p> <p>Les problèmes de développement limité en un réel non nul ou en $\pm\infty$ sont ramenés en 0. L'étude des développements asymptotiques ne sont pas un attendu du programme. △ Usage de logiciels traceurs de courbe.</p> <p>L'obtention d'un développement limité pour un quotient ou une fonction composée est présentée et exercée sur des exemples simples.</p> <p>Le second est obtenu par primitivation et le troisième par primitivations successives. La formule de Taylor-Young peut être admise, ou obtenue par primitivations successives dans le cadre d'une récurrence.</p>

Travaux dirigés

Exemples de recherche d'équivalents.
 Exemples d'approximation d'une courbe au voisinage d'un point.
 Études de fonctions d'une variable réelle.

△ Exemple d'approximation numérique des fonctions dérivées : pour une fonction de classe C^2 au voisinage de x , approximation de $f'(x)$ par $\frac{f(x+h)-f(x)}{h}$ (expérimentation numérique avec un logiciel ou une calculatrice). On peut majorer l'erreur d'approximation $\left| \frac{f(x+h)-f(x)}{h} - f'(x) \right|$ au moyen du théorème des accroissements finis. Cette démarche peut être prolongée avec une présentation de la méthode d'Euler pour les équations différentielles.

△ Expérimentations avec la méthode de Newton pour approcher une solution d'équation de la forme $f(x) = 0$.

⇒ Exemples tirés des sciences biologiques, chimiques ou physiques de systèmes évoluant avec le temps vers un état d'équilibre plus simple et stable ; approche qualitative.

Analyse 6 – Équations différentielles

Ce chapitre consolide les équations différentielles vues en TB1, et présente deux exemples d'équations différentielles non linéaires autonomes.

Exemples de capacités : Observer le caractère linéaire ou non d'une équation différentielle et en tirer parti ; résoudre une équation différentielle linéaire à coefficients constants ; proposer une résolution formelle pour une équation différentielle autonome très simple.

Contenus	Commentaires
Exemple d'équation différentielle non linéaire autonome : $y' + ky^2 = 0$.	On montre comment obtenir une expression des solutions sans se poser la question d'éventuelles annulations. La définition des équations autonomes est hors programme. Le changement de fonction inconnue peut être envisagé en cours, mais n'est pas attendu du programme. ⇒ Réactions d'ordre 2 en cinétique chimique (on met en valeur, dans ce contexte particulier, la notion de conditions initiales).
Étude de l'équation logistique $y' = y(1 - y)$ dans le seul cas où $0 < y < 1$.	On introduit la fonction auxiliaire $z = \frac{1}{y}$. ⇒ Ce modèle (dit logistique normalisé) trouve sa source en dynamique des populations.

Travaux dirigés

Exercices sur le programme de première année.

△ Utiliser un logiciel ou un algorithme pour tracer des solutions approchées.

⇒ Discussion de stratégies r et K sur le modèle logistique.

Probabilités 2 – Concepts de base des probabilités

Ce chapitre a pour but de développer les variables aléatoires réelles vues en première année, et de compléter et consolider les techniques du calcul des probabilités vues en première année.

On ne soulèvera aucune difficulté théorique sur les notions introduites dans cette partie du programme où un bon nombre de résultats seront admis.

Les séries à termes positifs sont exclusivement introduites en vue du calcul des probabilités. Au cours d'une épreuve de mathématiques les séries ne pourront intervenir que dans le cadre probabiliste.

Les séries considérées seront à termes positifs.

Exemples de capacités : déterminer la nature d'une série ; modéliser un problème par un univers probabilisé ; justifier qu'on dispose d'une probabilité ; exprimer un événement en fonction d'événements

plus simples portant sur des variables aléatoires.

Contenus	Commentaires
<p>a) Séries à termes positifs Définition, terme général, somme, somme partielle d'ordre n. Convergence et divergence d'une série.</p> <p>La somme $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k$ est définie comme la limite, finie ou infinie, de la suite des sommes partielles. On a l'alternative : $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k = +\infty$ ou $\sum_{k=0}^{+\infty} u_k < +\infty$.</p> <p>Propriétés de linéarité de la somme. Relations sur les sommes $\sum u_n + v_n = \sum (u_n + v_n)$ et $\sum \lambda u_n = \lambda \sum u_n$ pour $\lambda > 0$.</p> <p>Sommation des séries géométriques et des séries de terme général nq^n (avec $0 < q < 1$) ; convergence des séries $n^2 q^n$ pour $0 < q < 1$, $\sum \frac{x^k}{k!}$ pour $x > 0$.</p> <p>Convergence de $\sum \frac{1}{n^2}$ et divergence de $\sum \frac{1}{n}$.</p> <p>Théorème de comparaison pour deux séries à termes positifs : si deux séries de termes généraux u_n, v_n vérifient $u_n \leq v_n$ pour tout n, alors $\sum_n u_n \leq \sum_n v_n$.</p>	<p>On convient d'utiliser le symbole $\sum u_n$ pour désigner la série (sans préjuger de sa convergence).</p> <p>Le symbole $+\infty$ ne peut être manipulé que dans le cadre des sommes de séries à termes positifs. Les règles de calcul sont déduites des propriétés des limites de suites (vues en première année).</p> <p>On relie les identités : $(+\infty) + a = +\infty$, $(+\infty) + (+\infty) = +\infty$, $\lambda \cdot (+\infty) = \pm\infty$ avec les théorèmes correspondants sur les limites de suites.</p> <p>On admet la formule $\exp(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!}$.</p> <p>L'étude générale des séries de Riemann est hors programme.</p> <p>Le cas où la série minorante diverge est à considérer.</p> <p>Tout autre critère de comparaison est hors programme.</p>
<p>b) Généralités sur les probabilités Extension des définitions données en première année au cas où l'univers est un ensemble infini.</p> <p>Pour toute suite (A_n) d'événements deux à deux incompatibles, expression de $P(\bigcup A_n)$.</p> <p>Révision et extension à ce nouveau cadre des résultats de première année sur les probabilités et sur les probabilités conditionnelles.</p>	<p>On pourra signaler les problèmes qui peuvent survenir pour la définition de la probabilité d'une partie quelconque de l'univers mais la notion de tribu et les résultats sur la probabilité d'une réunion (respectivement une intersection) croissante (respectivement décroissante) d'événements sont hors programme.</p>
<p>c) Variables aléatoires réelles Définition d'une variable aléatoire sur un univers quelconque.</p> <p>Fonction de répartition.</p> <p>Propriétés d'une fonction de répartition.</p> <p>Notion d'indépendance de deux variables aléatoires.</p>	<p>On convient de dire que $X : \Omega \rightarrow \mathbf{R}$ est une variable aléatoire si, pour tout intervalle J, l'ensemble $\{\omega \in \Omega / X(\omega) \in J\}$ (également noté $(X \in J)$) est un événement. Aucun développement théorique n'est au programme.</p> <p>On fait le lien avec la recherche de la probabilité des événements de la forme $(X \leq a)$.</p> <p>Résultats admis.</p> <p>L'indépendance de X et Y est exprimée par rapport aux événements $(X \in I)$ et $(Y \in J)$, où I et J sont des intervalles. La définition de l'indépendance de n variables aléatoires pour $n \geq 3$ n'est pas un attendu du programme.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Lorsqu'on a une hypothèse d'expériences indépendantes, les variables aléatoires attachées à ces expériences sont indépendantes.	On admet le résultat suivant : soient deux variables aléatoires X et Y indépendantes, et deux fonctions de variable réelle u, v telles que $u(X)$ et $v(Y)$ soient des variables aléatoires, alors $u(X)$ et $v(Y)$ sont indépendantes.

Travaux dirigés

Exercices sur le programme de première année.

Calculs de sommes de séries, démonstrations de convergences, les exemples proposés restant assez simples.

△ Utiliser la représentation graphique de la suite des sommes partielles pour conjecturer la nature ou la valeur de la somme d'une série.

Expression d'événements complexes à partir d'événements de la forme $(X \in J)$, J étant un intervalle.

Probabilités 3 – Variables aléatoires discrètes

Exemples de capacités : modéliser une expérience aléatoire au moyen d'une variable aléatoire ; exprimer un événement en fonction de variables aléatoires et calculer sa probabilité ; démontrer que deux variables sont indépendantes ; élaborer une hypothèse d'indépendance et l'utiliser pour calculer des probabilités.

Contenus	Commentaires
a) Définitions On étendra la définition vue en première année au cas où l'ensemble des valeurs prises est contenu dans l'ensemble des entiers positifs. Loi de probabilité d'une variable aléatoire discrète. Fonction de répartition. Détermination de la loi de la variable aléatoire à partir de la fonction de répartition.	Diagramme en bâtons. Représentation graphique. On fait le lien avec les statistiques descriptives.
b) Espérance Espérance d'une variable aléatoire discrète positive. Théorème de transfert : expression de l'espérance de $\Phi(X)$, où Φ est une fonction numérique et X une variable aléatoire discrète. Linéarité de l'espérance ($E(X + \lambda Y) = E(X) + \lambda E(Y)$). Variance et écart-type.	On se limite au cas où Φ est une fonction positive. Ce résultat est admis. Résultat admis. La formule de König-Huygens $E(X - E(X)) = E(X^2) - E(X)^2$ doit être connue. On fait le lien avec les statistiques descriptives.
c) Expériences et variables aléatoires indépendantes Expression de l'indépendance de deux variables aléatoires discrètes dont on connaît les lois. Espérance du produit de deux variables aléatoires indépendantes. Variance de la somme de deux variables aléatoires indépendantes.	L'indépendance mutuelle de plus de deux variables aléatoires peut être mentionnée mais n'est pas un attendu du programme. Résultat admis.
d) Lois classiques	

Contenus (suite)	Commentaires
Présentation des lois classiques : – loi certaine, – loi uniforme discrète, – loi de Bernoulli, – loi de Poisson.	Exception faite de la loi de Poisson, les étudiants devront savoir reconnaître les situations classiques de modélisation pour ces lois. L'espérance et la variance de ces lois doivent être connues.
e) Schéma de Bernoulli et conséquences Formalisme du schéma de Bernoulli. Présentation des lois suivantes dans le cadre d'un schéma de Bernoulli : – loi binomiale, – loi géométrique. Somme de deux variables binomiales indépendantes de même paramètre réel p .	Les étudiants devront savoir reconnaître les situations classiques de modélisation pour ces lois. L'espérance et la variance de ces lois doivent être connues. La loi hypergéométrique peut être étudiée en exercice mais ne constitue pas un attendu du programme.

Travaux dirigés

Calculs de lois, d'espérances et de variances.

Exemples d'extension des notions précédentes à des variables aléatoires discrètes non positives.

Reconnaissance de loi lors de la modélisation de problèmes.

△ Au vu de tableaux ou de diagrammes en bâtons, proposer une loi pouvant modéliser un phénomène.

Approximation d'une loi binomiale par une loi de Poisson (qui justifie ainsi la loi de Poisson comme modèle du nombre d'occurrences de certains événements rares).

⇒ Exemples variés de lois discrètes issues de contextes liés aux autres disciplines et à la vie courante.

Probabilités 4 – Variables aléatoires à densité

Les fonctions continues par morceaux et l'intégrale impropre sont introduites 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.

Exemples de capacités : montrer qu'une fonction est une fonction de densité ; justifier le fait qu'une variable aléatoire admet une densité ; employer les intégrales impropres au sein d'un problème de probabilités ; calculer la probabilité d'un événement exprimé à l'aide de variables aléatoires ; calculer une espérance et une variance.

Contenus	Commentaires
a) Fonctions continues par morceaux Définition d'une fonction continue par morceaux sur \mathbf{R} . Généralisation de la notion d'intégrale aux fonctions continues par morceaux. Propriétés.	Les fonctions considérées n'ont qu'un nombre fini de discontinuités (et admettent des limites à droite et à gauche en tout point). On évitera les développements théoriques pour se consacrer aux calculs pratiques. On pourra admettre la plus grande partie des adaptations aux fonctions continues par morceaux des résultats mis en place pour les fonctions continues.

Contenus (suite)	Commentaires
Soit f une fonction continue par morceaux sur \mathbf{R} et soit a un réel, étude des propriétés de la fonction F définie sur \mathbf{R} par : $F(x) = \int_a^x f(t) dt$. Croissance dans le cas où f est positive, continuité et dérivabilité.	Résultats admis.
<p>b) Définition de l'intégrale impropre</p> <p>Définition de l'intégrale d'une fonction positive continue par morceaux sur \mathbf{R}, sur un intervalle de la forme $] - \infty, a]$, $[a, +\infty[$, $] - \infty, +\infty[$. Convergence et divergence.</p> <p>Utilisation d'une primitive.</p> <p>L'intégrale de Gauss $\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx$ converge et vaut $\sqrt{2\pi}$.</p>	<p>On souligne l'importance du théorème de la limite monotone pour démontrer une convergence.</p> <p>On convient que $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$ (resp. $\int_a^{+\infty} f(t) dt$, $\int_{-\infty}^a f(t) dt$), ou bien est fini, ou bien vaut $+\infty$.</p> <p>Interprétation de ces quantités en termes de limites d'aire.</p> <p>L'exemple fourni par les intégrales de Riemann sur $[1, +\infty[$ est choisi comme illustration.</p> <p>Résultat admis.</p>
<p>c) Propriétés</p> <p>Relation de Chasles. Linéarité.</p> <p>Intégrale généralisée et relation d'ordre.</p> <p>Adaptation de la formule de changement de variable pour les intégrales impropres.</p>	<p>Résultat admis.</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>d) Convergence</p> <p>Théorème de comparaison pour deux fonctions positives f et g telles que : $f \leq g$ au voisinage de la borne considérée.</p>	<p>Tout autre critère de comparaison est hors programme.</p>
<p>e) Généralités sur les variables aléatoires à densité</p> <p>Densité de probabilité. Une fonction de densité est une fonction définie sur \mathbf{R}, continue par morceaux, positive, dont l'intégrale impropre converge et vaut 1.</p> <p>Variable aléatoire positive admettant une densité : expression de la fonction de répartition.</p> <p>Sur des exemples simples, recherche de la loi de la variable $Y = f(X)$, X ayant une densité connue.</p> <p>Espérance, variance et écart-type de variables aléatoires positives à densité.</p> <p>Formule de König-Huygens .</p> <p>Théorème de transfert.</p> <p>Brève extension des notions précédentes aux variables aléatoires réelles à densité.</p>	<p>On peut prendre comme exemples $Y = X^2$, $Y = aX + b$, etc.</p> <p>On fait une analogie avec le cas discret.</p> <p>Tous les résultats sont admis.</p>
<p>f) Lois classiques</p> <p>Étude des lois classiques : loi uniforme, loi exponentielle, loi normale.</p> <p>Fonction des quantiles.</p>	<p>Transformation pour se ramener à la loi normale centrée réduite.</p> <p>On fait remarquer que les fonctions de répartition des lois exponentielles et normales sont strictement monotones et continues sur leurs intervalles de définition respectifs. Les fonctions réciproques, nommées « fonctions des quantiles », sont souvent notées u; interprétation et exemples d'emploi de la fonction u.</p>

Contenus (suite)	Commentaires
Espérance et variance de ces lois.	L'espérance d'une variable aléatoire suivant une loi normale fait apparaître une intégrale d'une fonction non positive; on lui donne un sens au moyen d'un découpage. Les espérances et variances des lois mentionnées doivent être connues.

Travaux dirigés

Exemples d'étude de convergence d'intégrales impropres en lien avec des variables aléatoires et leurs espérances.

Exemples de calculs de probabilités faisant intervenir des variables aléatoires à densité.

△ Simulation des lois uniforme, exponentielle, normale en utilisant un logiciel ou une calculatrice.

⇒ Exemples de phénomènes naturels pouvant être modélisés par des lois uniformes, exponentielles, normales.

Probabilités 5 – Couples de variables aléatoires discrètes

Exemples de capacités : Trouver les lois marginales ; calculer une covariance ; calculer la probabilité d'un événement simple exprimé en fonction de deux variables aléatoires.

On se limite ici aux couples de variables aléatoires dont l'une au moins est finie et prend au plus quatre valeurs.

Contenus	Commentaires
Notation (X, Y) . Loi conjointe. Lois marginales. Lois conditionnelles. Covariance.	Interprétation de la notion d'indépendance.

Travaux dirigés

Exemples de détermination de la loi des variables X et Y à partir de la loi d'un couple discret (X, Y) .

Probabilités 6 – Théorèmes limites et prise de décision

Ce chapitre met en place un contexte d'étude de phénomènes limites, amenant à une reprise en situation de quelques résultats simples de statistique inférentielle figurant dans le programme de la classe terminale STL ; les liens avec les autres chapitres sont évidemment à souligner.

Exemples de capacités : Approcher une loi binomiale par une loi normale ; déterminer et exploiter un intervalle de fluctuation ; donner un intervalle de confiance.

Contenus	Commentaires
a) Lois des grands nombres Inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev pour des variables aléatoires positives. Loi faible des grands nombres. Approximation d'une loi binomiale par une loi normale.	Résultat admis.
b) Intervalle de fluctuation d'une fréquence	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Intervalle de fluctuation asymptotique à 95% d'une fréquence obtenue sur un échantillon de taille n :</p> $\left[p - 1,96\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} ; p + 1,96\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \right]$ <p>lorsque la proportion p dans la population est connue. Test d'hypothèse portant sur une proportion : hypothèse nulle, hypothèse alternative.</p>	<p>Résultat admis. Il est possible de mettre en évidence le lien entre la constante 1,96 et la valeur de la fonction des quantiles associée à la loi normale centrée réduite au point 0,95.</p> <p>À l'aide d'intervalle de fluctuation on parvient à rejeter, ou non, l'hypothèse nulle. La notion d'erreurs de première et de seconde espèce n'est pas un attendu du programme.</p>
<p>c) Intervalle de confiance d'une proportion Estimation d'une proportion inconnue avec un niveau de confiance de 95% par l'intervalle</p> $\left[f - 1,96\sqrt{\frac{f(1-f)}{n}} ; f + 1,96\sqrt{\frac{f(1-f)}{n}} \right]$ <p>calculé à partir d'une fréquence f obtenue sur un échantillon de taille n. Test de l'égalité de deux proportions à l'aide des intervalles de confiance à 95% correspondant aux fréquences de deux échantillons de taille n.</p>	<p>Résultat admis. On fait constater par simulation que, pour $n \geq 30$, sur un grand nombre d'intervalles de confiance, environ 95 % contiennent la proportion à estimer.</p> <p>La différence entre les deux fréquences observées est considérée comme significative quand les intervalles de confiance à 95% sont disjoints.</p>

Travaux dirigés

On utilisera les résultats précédents pour donner des ordres de grandeurs pour des probabilités issues de problèmes concrets.

△ Observation d'une convergence par rapport à un intervalle de fluctuation.

⇒ Acceptabilité d'un résultat.

⇒ Incertitude de mesure associée à un niveau de confiance.

⇒ Méthodes statistiques pratiquées en biologie et en biotechnologies.

⇒ Dénombrement bactérien en milieu solide.

Analyse 7 – Notions sur les fonctions réelles de plusieurs variables réelles

Ce chapitre met en place, très simplement, le vocabulaire et la problématique des fonctions de plusieurs variables. En Mathématiques, on se limite aux fonctions de deux variables (suffisamment lisses) tout en faisant observer qu'il n'y a pas plus de difficulté à aborder des phénomènes à trois variables.

Exemples de capacités : calculer des dérivées partielles, des dérivées partielles d'ordre deux ; déterminer les extrémums possibles d'une fonction de deux variables.

Contenus	Commentaires
<p>a) Notion de fonction de plusieurs variables et de dérivées partielles Définition d'une fonction de \mathbf{R}^2 dans \mathbf{R}.</p> <p>Fonction partielle par rapport à une variable. Dérivée partielle par rapport à une variable</p>	<p>Retour sur la notion d'applications de E dans F vue en première année.</p> <p>⇒ Notion de coupe sur un milieu (tissu vivant, terrain).</p>
<p>b) Extrémums d'une fonction de plusieurs variables</p>	

Contenus (suite)	Commentaires
<p>Fonctions continues.</p> <p>Fonctions de classe \mathcal{C}^1.</p> <p>Dérivée d'une expression de la forme $f(x(t), y(t))$, les fonctions f, x, y étant de classe \mathcal{C}^1.</p> <p>Notion d'extrémum local.</p> <p>Les dérivées partielles d'une fonction \mathcal{C}^1 s'annulent en tout extrémum local de la fonction.</p>	<p>On introduit cette notion à partir d'exemples simples et à l'aide d'un support graphique.</p> <p>On utilise la notion de rectangle de \mathbf{R}^2 qui généralise celle d'intervalle de \mathbf{R} afin d'exprimer la continuité.</p> <p>Étudier la continuité d'une fonction n'est pas un attendu du programme.</p> <p>Résultat admis.</p> <p>Cette notion est exprimée à l'aide des rectangles.</p>
<p>c) Dérivées d'ordre deux.</p> <p>Dérivées partielles d'ordre deux.</p>	<p>Les notations de Monge comme le théorème de Schwarz sont hors-programme.</p>

Travaux dirigés

Détermination d'extrémums dans des problèmes faisant intervenir deux variables.

△ Représentation graphique d'une surface et détermination visuelle des extrémums.

⇒ Exemples de lois physiques s'exprimant avec des dérivées partielles premières ou secondes (notamment en thermodynamique et à propos des gaz parfaits). La notion de différentielle, vue en physique, peut être évoquée à ce moment.

ANNEXE 3

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

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB 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, ce programme 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 TB2, 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 TB2. 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. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

Le programme de physique-chimie de la classe de deuxième année de TB 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 TB1, qui restent exigibles, et devront être régulièrement exercées durant la classe de TB2. 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 TB2. 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 se prêtent à une **approche documentaire**. Les activités peuvent être abordées de manière collective ou nourrir un travail de préparation en autonomie.

- Un appendice liste le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser de façon autonome dans le cadre des enseignements de physique-chimie en fin de deuxième année de TB. 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 par semestre. 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, sciences de la vie et de la terre, biotechnologies, mathématique et informatique.

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'enrichissant 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 du volume horaire dédié aux travaux pratiques, ceux-ci doivent permettre l'acquisition de compétences spécifiques décrites dans cette partie, de capacités dans le domaine de la mesure (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.- Enoncer 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.- Evaluer 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">- A 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 ;o utiliser un vocabulaire scientifique adapté ;o s'appuyer sur des schémas, des graphes.- Faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.
Etre 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.
Etablir 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 grandeurs 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 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 en gras**, 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 grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique et de la chimie des XXème et XXIème 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	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie. - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau...).
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations. - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents. - 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/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.
---	--

Dix activités documentaires sont listées dans la formation disciplinaire de seconde année, en TB2. Ces activités nourrissent la réflexion thématique élargie. Néanmoins il ne saurait être question de limiter le champ des activités possibles, ni de restreindre les choix pédagogiques du professeur. Toute autre activité documentaire en liaison avec les thèmes du programme peut être étudiée et évaluée, dès lors que les activités citées dans le programme ont déjà été réalisées dans le cadre de la formation.

Partie 2 - Formation expérimentale

Cette partie présente l'ensemble des capacités expérimentales que les élèves doivent acquérir au cours des deux années de formation durant les séances de travaux pratiques.

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.

Le choix des activités peut être réalisé en fonction de la progression de l'enseignement des concepts tout en maintenant un équilibre entre les deux années de préparation. Ces activités sont l'occasion pour l'étudiant de développer le sens de l'initiative, le **respect des règles de sécurité pour l'homme et pour l'environnement**.

Les étudiants doivent connaître le principe des techniques indiquées et en réaliser la mise en œuvre expérimentale. Des notices simplifiées de fonctionnement et de réglage des appareils utilisés doivent être fournies.

Nature et méthodes	Capacités exigibles
<p>Règles de sécurité</p> <p>Techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chauffage à reflux, - addition d'un réactif au cours d'une réaction, - réaction en conditions anhydres, - traitement d'un brut réactionnel, - séparation et purification, 	<p>Interpréter la fiche de sécurité et l'étiquetage d'un produit.</p> <p>Respecter les règles élémentaires de sécurité dans le cadre d'un travail en laboratoire.</p> <p>Installer et utiliser un montage de chauffage à reflux.</p> <p>Utiliser une ampoule de coulée.</p> <p>Conduire une réaction en milieu anhydre.</p> <p>Réaliser les opérations suivantes : filtration sous vide, extraction liquide-liquide, lavage, séchage d'une phase organique, élimination d'un solvant à l'aide d'un évaporateur rotatif, essorage et séchage d'un solide.</p>

<p>Analyse et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chromatographie sur couche mince, - dosage de prélèvements, - température de fusion, - indice de réfraction, - pouvoir rotatoire, - rendement. 	<p>Mettre en œuvre les techniques suivantes : relargage, distillation fractionnée sous pression atmosphérique, hydrodistillation, recristallisation.</p> <p>Réaliser une chromatographie sur couche mince.</p> <p>Réaliser un prélèvement et effectuer un dosage</p> <p>Utiliser un banc Köfler, un réfractomètre, un polarimètre.</p> <p>Utiliser un pH-mètre, un spectrophotomètre, un calorimètre.</p> <p>Définir et calculer le rendement d'une réaction.</p> <p>Mesurer une masse, un volume.</p> <p>Rechercher et interpréter des informations tabulées.</p>
--	--

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 quatre thèmes :

- I. Evolution des systèmes physiques en thermodynamique
- II. Stratégie de synthèse organique
- III. Evolution et équilibre des systèmes chimiques
- IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

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.

I – Evolution des systèmes physiques en thermodynamique

Cette partie prolonge l'étude du premier principe de la thermodynamique, vue en première année. Le second principe de la thermodynamique permet de sensibiliser les futurs scientifiques à la question de l'irréversibilité des transformations. L'étude des systèmes physiques en évolution débouche sur des applications pratiques dans la vie quotidienne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Second principe de la thermodynamique : principe d'évolution	
Nécessité du second principe, irréversibilité d'une transformation.	Discuter de l'insuffisance du premier principe, d'après un exemple et citer les causes d'irréversibilité d'une transformation.
Entropie S : fonction d'état extensive et non conservative.	Ecrire la variation élémentaire d'entropie dS comme la somme d'un terme d'échange et d'un terme de création, ce dernier rendant compte de l'évolution interne du système :
Entropie créée, entropie échangée.	$dS = \delta S_c + \delta S_e$.

	<p>Utiliser la nullité de l'entropie créée comme critère de la réversibilité.</p> <p>Exprimer l'entropie échangée entre le système et le milieu extérieur.</p> <p>Comparer les évolutions adiabatique réversible et adiabatique irréversible.</p>
2. Identité thermodynamique	
<p>Température thermodynamique et pression thermodynamique. Concordance (admise) entre ces grandeurs et les grandeurs expérimentales.</p> <p>Première identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dU=TdS-PdV$.</p> <p>Seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dH=TdS+VdP$.</p>	<p>Utiliser à bon escient les notations désignant une dérivée, une dérivée partielle et une différentielle.</p> <p>Définir la température thermodynamique et la pression thermodynamique à partir des dérivées partielles de la fonction $U(S,V)$.</p> <p>Expliciter la différentielle de U en variable S et V, pour établir la première identité thermodynamique.</p> <p>Démontrer la seconde identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant en partant de la définition de l'enthalpie et en utilisant la première identité.</p>
3. Applications du second principe	
<p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création pour une transformation du gaz parfait.</p> <p>Loi de Laplace pour le gaz parfait.</p> <p>Variation d'entropie, entropie d'échange et entropie de création d'une phase condensée (modèle incompressible et indilatable).</p> <p>Bilan entropique d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare.</p> <p>Diagrammes entropiques</p>	<p>Etablir l'expression de la variation d'entropie d'un gaz parfait en variables (T,V) ou (T,P)</p> <p>Choisir de manière pertinente les variables de travail.</p> <p>Démontrer le caractère irréversible de quelques transformations : détente de Joule Gay Lussac, mixage de deux gaz.</p> <p>Etablir, à partir du second principe de la thermodynamique, les trois expressions de la loi de Laplace pour le gaz parfait en évolution adiabatique réversible.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie pour une phase condensée.</p> <p>Montrer l'irréversibilité lors du transfert thermique entre deux solides en contact contenus dans une enceinte calorifugée.</p> <p>Etablir l'expression de la variation d'entropie lors d'un changement d'état réversible du corps pur, isotherme et isobare. Commenter le signe de cette variation d'entropie.</p> <p>Activité documentaire : lire et exploiter un diagramme entropique en coordonnées (T,S) ou (H,S).</p>
4. Machines thermiques	
<p>Machines thermiques monothermes et dithermes dans le cas de sources idéales : définitions, bilans énergétique et entropique, inégalité de Clausius.</p>	<p>Définir un moteur et un récepteur thermique. Démontrer qu'un moteur monotherme ne peut pas exister.</p> <p>Distinguer une machine frigorifique d'une pompe à chaleur.</p> <p>Connaître le sens réel des échanges d'énergie entre le fluide et l'extérieur pour chaque cas.</p>

Rendement ou efficacité d'une machine thermique.	Définir le rendement d'un moteur thermique et l'efficacité d'un récepteur. Etablir le théorème de Carnot.
Cycles thermodynamiques de fluides.	Etudier le cycle de Carnot et comprendre son caractère réversible. Décrire un cycle irréversible (avec ou sans changement d'état) : Beau de Rochas, Rankine ... Activité documentaire : comprendre le fonctionnement et l'intérêt d'un dispositif de chauffage ou de réfrigération.

II- Stratégie de synthèse organique

Cette partie s'appuie sur les notions abordées en première année. L'approche par les familles, destinée à stabiliser les connaissances des élèves de première année, fait place en deuxième année à une présentation par types de réactions, plus réflexive et moins cognitive. A cette occasion, les études de cas proposées peuvent être assorties de révisions de première année. Le programme comprend également une initiation à la stratégie de synthèse organique, qui peut être étayée par des exemples pris dans le domaine de la biochimie ou de la pharmaceutique. A cet effet, une mobilisation de l'ensemble des connaissances acquises en chimie organique est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Principaux types de réactions	
Substitution nucléophile et mécanismes limites S_N1 et S_N2 . Etude de cas : obtention des amines et des ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes d'obtention des amines de différentes classes. Connaître les conditions opératoires favorisant l'obtention d'un ion ammonium quaternaire.
β -élimination et mécanismes limites E1 et E2. Etudes de cas : obtention des alcènes à partir des halogénoalcanes et des alcools ; élimination d'Hofmann sur les ions ammonium quaternaire.	Ecrire les équations des réactions d'obtention des alcènes et les mécanismes E1 et E2. Discuter de la compétition des mécanismes E1 et E2 à partir d'exemples et des conséquences stéréochimiques. Comparer la régiosélectivité des réactions d'obtention des alcènes, selon la voie de synthèse choisie.
Addition nucléophile. Etudes de cas : hémiacétalisation et acétalisation des dérivés carbonyles.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Utiliser les réactions en vue de protéger une fonction carbonyle. Commenter l'obtention des α et β Dglucopyrannose.
Addition-élimination. Etudes de cas : obtention des esters et des amides. Hydrolyse des dérivés d'acides carboxyliques.	Ecrire les équations des réactions et les mécanismes réactionnels. Etudier la synthèse d'un dipeptide. Réaliser la synthèse d'un dérivé d'acide carboxylique ou l'hydrolyse d'un dérivé d'acide carboxylique. Comparer la réactivité des dérivés d'acides carboxyliques vis-à-vis de l'hydrolyse.

<p>Réactions d'oxydoréduction en chimie organique. Etudes de cas : réduction des carbonyles, des acides carboxyliques et dérivés ; oxydation des aldéhydes.</p>	<p>Identifier et choisir les espèces réductrices ou oxydantes usuelles en fonction des objectifs de synthèse. Ecrire et équilibrer les équations des réactions. Connaître et les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</p> <p>Réaliser et interpréter les tests caractéristiques de la fonction carbonyle.</p>
<p>Réactions acido-basiques en chimie organique : définition du pK_A généralisé. Exemples d'acides et de bases utilisés en chimie organique.</p> <p>Basicité des amines.</p> <p>Mobilité de l'hydrogène en α du groupe carbonyle : tautomérie céto-énolique, énol et ion énolate ; aldolisation, céto-lisation, crotonisation.</p>	<p>Connaître et classer les acides et les bases usuelles utilisées en chimie organique.</p> <p>Discuter de l'influence du pH sur la nucléophilie des amines.</p> <p>Ecrire les mécanismes d'obtention de l'énol et de l'énolate. Commenter la position de l'équilibre céto-énolique. Commenter l'équilibre d'isomérisation entre le glucose et le fructose.</p> <p>Ecrire les équations des réactions d'aldolisation, de céto-lisation et de crotonisation. Ecrire les mécanismes d'aldolisation et de crotonisation en milieu basique.</p> <p>Réaliser une condensation aldolique ou céto-lique.</p>
<p>2. Stratégie de synthèse</p>	
<p>Activation des fonctions alcool et acide carboxylique : obtention du chlorure d'acyle par action du chlorure de thionyle sur l'acide correspondant et de l'anhydride par action du carboxylate sur le chlorure d'acyle.</p> <p>Protection, déprotection des fonctions carbonyle, acide carboxylique, amine.</p> <p>Allongement de chaîne, création de liaison C-C, initiation à la rétrosynthèse. Etude de cas : C-alkylation, synthèse malonique.</p> <p>Régiosélectivité en synthèse : contrôle cinétique et contrôle thermodynamique, choix des conditions opératoires.</p>	<p>Ecrire les équations des réactions d'activation, de protection, de déprotection.</p> <p>Discuter de la nécessité d'activer ou de protéger une fonction.</p> <p>Identifier les étapes de la synthèse d'un peptide.</p> <p>Activité documentaire : étudier une approche historique de la synthèse peptidique.</p> <p>Analyser le squelette carboné d'une molécule et prévoir sa synthèse par union de deux chaînes plus courtes.</p> <p>Ecrire les équations des réactions de C-alkylation et des étapes de la synthèse malonique.</p> <p>Activité documentaire : étudier les étapes de la synthèse d'un composé multifonctionnel et l'évolution du squelette carboné lors de la synthèse.</p> <p>Prévoir les réactions possibles et favoriser un produit de synthèse particulier, à l'appui d'études de cas.</p> <p>Activité documentaire : commenter la régiosélectivité de synthèse sur des exemples simples.</p> <p>Comparer deux synthèses concurrentes en discutant des aspects économiques et</p>

Enjeux de la chimie verte : considérations économiques et écologiques. Synthèse au laboratoire et synthèse industrielle. Etude de cas : synthèse de l'aspirine.	écologiques. Expliciter les termes : synthèse propre, synthèse économe en matière et en énergie. Analyser les étapes d'une synthèse multi-étapes. Réaliser une synthèse multi-étapes.
---	--

III- Evolution et équilibre des systèmes chimiques

Cette partie s'inscrit dans le prolongement de la formation proposée en première année. L'évolution et l'équilibre des systèmes sièges d'une réaction chimique sont étudiés grâce aux concepts thermodynamiques déjà rencontrés et adaptés au contexte particulier de la réaction chimique. Les exemples sont pris dans les domaines de la synthèse au laboratoire ou dans l'industrie, en phase sèche ou en phase aqueuse. Les équilibres en phase aqueuse font l'objet d'une étude poussée, au regard de leur intérêt dans le domaine biologique et dans le domaine analytique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Fonction enthalpie libre	
Enthalpie libre G : définition à partir de $G = H - TS$, fonction d'état extensive.	Connaître l'expression générale de l'enthalpie libre
Systèmes fermés divariants. Identité thermodynamique dans le cas d'un système divariant : $dG = -SdT + VdP$ Variation d'enthalpie libre d'un gaz parfait. Relation de Gibbs-Helmholtz.	Dans le cas où T et P sont constants, démontrer que $dG \leq 0$. Etablir l'expression de dG à partir de celle de dH , expliciter la différentielle de la fonction $G(T,P)$ et déduire les expressions de S et de V . Distinguer les écritures de la différentielle et de la dérivée partielle. Etablir la relation de Gibbs-Helmholtz.
2. Potentiel chimique	
Potentiel chimique pour un constituant d'un système homogène fermé, de composition variable. Potentiel chimique du gaz parfait, seul ou dans un mélange idéal de gaz parfaits. Activité d'un constituant. Potentiel chimique d'un constituant pur ou dans un mélange idéal en phase condensée (modèle incompressible et indilatable). Potentiel chimique d'un soluté et d'un solvant dans une solution idéale.	Exprimer l'identité thermodynamique avec les variables T , P et les quantités de matière des constituants du système. Déduire le potentiel chimique du constituant i , comme la dérivée partielle de l'enthalpie libre à T , P et n_j ($j \neq i$) fixés. Etablir l'expression du potentiel chimique dans les deux cas. Connaître et utiliser les expressions du potentiel chimique et de l'activité d'un constituant dans les cas cités. Utiliser le formalisme $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$.
3. Grandeurs thermodynamiques caractérisant une réaction	
Variation de l'enthalpie libre d'un système fermé, siège d'une réaction chimique à pression et à température constantes.	Connaître et utiliser la relation d'Euler (admise) appliquée à la fonction enthalpie libre. Utiliser les variations élémentaires des différentes quantités de matière exprimées en fonction de la variation élémentaire de l'avancement, $d\xi$. Expliciter à T et P fixés $dG = \sum \mu_i dn_i$.

<p>Enthalpie libre de réaction, entropie de réaction et enthalpie de réaction : définitions, relations $dG = \Delta_r G d\xi$ et $\Delta_r G = \sum \mu_i \nu_i$.</p> <p>Grandeurs standard de réaction : définitions.</p> <p>Relations entre grandeurs standard :</p> <ul style="list-style-type: none"> - enthalpie libre standard de réaction - enthalpie standard de réaction - entropie standard de réaction - enthalpie libre standard de formation - enthalpie standard de formation - entropie molaire standard S°_m <p>Variation de $\Delta_r G^\circ$ avec la température. Relation de Gibbs-Helmholtz. Approximation d'Ellingham.</p>	<p>Définir une grandeur thermodynamique de réaction comme la dérivée partielle de la fonction d'état par rapport à l'avancement, à T et P fixés ; appliquer cette définition à G, S et H. Déduire pour la réaction chimique à T et P fixés : $dG = \Delta_r G d\xi$.</p> <p>Justifier l'approximation faite en première année, identifiant l'enthalpie de réaction à l'enthalpie standard de réaction.</p> <p>Distinguer et relier l'enthalpie libre de réaction et l'enthalpie libre standard de réaction.</p> <p>Relier les grandeurs standard entre elles.</p> <p>Connaître la propriété d'une grandeur standard de dépendre de la température.</p> <p>Appliquer la relation de Gibbs-Helmholtz. Appliquer l'approximation d'Ellingham.</p>
<p>4. Evolution d'un système chimique et équilibre</p>	
<p>Affinité chimique d'un système : définition à partir de l'enthalpie libre de réaction, sens d'évolution d'un système et condition d'équilibre.</p> <p>Quotient de réaction Q_R : définition et expression en fonction des activités des constituants. Expression de l'affinité chimique en fonction de Q_R et de la constante d'équilibre K°.</p>	<p>Définir l'affinité chimique. Appliquer le second principe de la thermodynamique pour prévoir $dG < 0$ et $A > 0$ pendant une évolution selon une réaction chimique à T et P fixés. Discuter du signe de $\Delta_r G$ selon l'évolution.</p> <p>Démontrer $dG = 0$ et $A = 0$ pour l'équilibre chimique.</p> <p>Démontrer la relation $A = A^\circ - RT \ln Q_R$ avec $A^\circ = RT \ln K^\circ$. Justifier le résultat de la première année sur le critère d'évolution d'un système chimique en réaction.</p>
<p>Variance, facteurs d'équilibre (P, T, x_i).</p> <p>Variation de la constante d'équilibre avec la température.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques : influence de la température (loi de modération de Van't Hoff), de la pression (loi de modération de Le Chatelier), de l'introduction ou du retrait d'un constituant actif ou inactif dans les conditions isotherme-isochore ou isotherme-isobare.</p>	<p>Identifier les paramètres intensifs influant sur l'équilibre d'un système chimique et les relations entre ces paramètres. Calculer la variance dans des cas variés, en utilisant la règle de Gibbs sans la démontrer.</p> <p>Déduire la relation de Van't Hoff à partir de la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Etablir les lois de déplacement d'équilibre en se limitant au cas de l'influence de T et P pour un système fermé.</p> <p>Etudier qualitativement le cas de l'introduction d'un constituant inactif sans utiliser l'expression de l'affinité chimique hors équilibre.</p> <p>Prévoir l'ajout d'un réactif en excès ou le retrait d'un produit au fur et à mesure d'une synthèse pour en améliorer le rendement.</p> <p>Appliquer les lois de déplacement des équilibres chimiques et expliciter le terme « modération ».</p>

	Activité documentaire : commenter les choix industriels influant sur le rendement d'une synthèse.
5. Equilibres chimiques en solution aqueuse	
5.1. Complexation	
<p>Couple donneur-accepteur de ligand L. Formation de complexes successifs avec un même ligand. Constante de formation et constante de dissociation d'un complexe.</p> <p>Domaines de prédominance du complexe et de l'ion libre.</p> <p>Complexation compétitive par des ligands de natures différentes.</p> <p>Importance des complexes dans l'eau et dans les milieux biologiques.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique grâce aux propriétés d'un complexe dans un titrage.</p>	<p>Reconnaître un ligand et un accepteur de ligand. Définir la constante d'équilibre de formation globale et l'écrire dans quelques exemples variés en appliquant la loi d'action des masses. Relier la constante de formation globale aux constantes de formations successives.</p> <p>Utiliser les constantes de formation et de dissociation. Etablir le diagramme de prédominance dans un cas simple sans intermédiaire instable. Exploiter une courbe de distribution en fonction de pL.</p> <p>Prévoir sans dérive calculatoire un échange de ligands en se limitant au cas de même stœchiométrie.</p> <p>Prévoir l'influence du pH dans quelques exemples sans calcul.</p> <p>Activité documentaire : illustrer l'importance de la complexation en milieu biologique.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage ou un changement de couleur.</p>
5.2. Solubilité et précipitation	
<p>Solubilité d'un gaz dans l'eau.</p> <p>Solution saturée solide : définition, équilibre entre solide et espèces en solution, produit de solubilité K_S.</p> <p>Condition de précipitation par comparaison du quotient réactionnel Q_S et de K_S.</p> <p>Solubilité s d'une espèce moléculaire ou ionique dans l'eau.</p> <p>Déplacement de l'équilibre de solubilité.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage par précipitation.</p>	<p>Utiliser la constante d'équilibre de Henry.</p> <p>Ecrire l'équilibre entre forme solide et forme dissoute pour la solution saturée, expliciter K_S.</p> <p>Déterminer si une solution est saturée ou non.</p> <p>Exprimer K_S en fonction de s.</p> <p>Déterminer s ou K_S.</p> <p>Expliquer le déplacement d'équilibre dans quelques cas simples et sans dérive calculatoire : effet d'ion commun, influence du pH, complexation.</p> <p>Interpréter l'influence de la température sur la solubilité et expliquer le principe de la recristallisation.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage, une apparition ou une disparition d'un précipité.</p>

5.3. Oxydo-réduction	
<p>Relation entre affinité chimique d'une réaction chimique et potentiels rédox des couples impliqués dans la réaction. Evolution et équilibre rédox. Constante d'équilibre et quotient de réaction rédox.</p> <p>Potentiel apparent d'oxydoréduction à pH 7. Cas du potentiel à 37°C.</p> <p>Présentation des diagrammes potentiel-pH sans excès calculatoire ; influence de la précipitation et de la complexation.</p> <p>Détermination d'une concentration ou d'une grandeur thermodynamique par titrage rédox.</p> <p>Energie mise en jeu lors de fonctionnement d'une pile.</p> <p>Biocapteur : principe de fonctionnement sur un exemple.</p>	<p>Utiliser la relation $A = nF\Delta E$ et prévoir le sens d'évolution rédox. Retrouver les résultats utilisés en première année sur le fonctionnement d'une pile électrochimique. Analyser l'état final à l'équilibre rédox.</p> <p>Analyser la réactivité chimique rédox dans des exemples de couples présents dans les milieux biologiques (NAD/ NADH) à pH 7.</p> <p>Interpréter les diagrammes potentiels-pH dans quelques cas simples, cas de l'eau.</p> <p>Réaliser un dosage et exploiter une courbe de titrage.</p> <p>Activité documentaire : interpréter les résultats d'étude de consommation de piles usuelles.</p> <p>Activité documentaire : Expliciter le principe et l'avantage d'un biocapteur.</p>

IV. Transport de matière et d'énergie, mécanique des fluides

Cette partie est résolument nouvelle par rapport au programme de première année. Le transport de matière par diffusion et le transfert thermique répondent à des lois simples, utiles dans la vie quotidienne. Ils sont comparés dans des cas simples en régime permanent ; notamment leur étude se limite à des modèles unidimensionnels. Puis l'étude des écoulements de fluides répond à une exigence de formation sur des questions pratiques en liaison avec plusieurs disciplines : fluides dans une canalisation avec ou sans pompage, fluides de ruissellement, fluides biologiques... Les fluides visqueux font enfin l'objet d'une étude sommaire, visant à initier une réflexion sur les conséquences des écoulements ; les exemples peuvent être tirés de plusieurs domaines (biologie, géologie, agroalimentaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Phénomènes de transport	
<p>Diffusion de matière, en régime permanent.</p> <p>Flux et densité de flux de diffusion de matière à travers une surface S. Définition et expression générale $\phi = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$. Cas particulier : $\phi = j \times S$.</p> <p>Première loi de Fick : énoncé et applications</p>	<p>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de diffusion de matière.</p> <p>Définir le vecteur densité de flux de matière. Définir le flux de matière à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de flux est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fick et l'explicitier dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique sans faire</p>

<p>simples excluant les phénomènes de couplage, l'autodiffusion, la diffusion mutuelle ainsi que toute interprétation microscopique.</p>	<p>Intervenir le gradient. Effectuer un bilan de masse sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la diffusion a lieu en prenant en compte d'éventuels phénomènes de disparition ou de création (réaction, absorption dans une autre phase). Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fick pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p>
<p>Conduction thermique.</p> <p>Flux et densité de flux thermique à travers une surface S. Définition et expression générale $\phi_{th} = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot \vec{dS}$. Cas particulier : $\phi_{th} = j_{th} \times S$.</p> <p>Première loi de Fourier : énoncé et applications simples.</p> <p>Analogie de la première loi de Fourier avec la première loi de Fick. Résistance thermique et résistance diffusive.</p>	<p>Réaliser une expérience simple mettant en évidence le phénomène de conduction thermique.</p> <p>Définir le vecteur densité de flux thermique. Définir le flux thermique à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Connaître l'expression de la première loi de Fourier et l'expliciter dans les cas unidimensionnels plan ou cylindrique, sans faire intervenir le gradient. Effectuer un bilan thermique sur une tranche élémentaire du milieu dans lequel la conduction de la chaleur a lieu en prenant en compte d'éventuelles pertes thermiques ou une production interne de chaleur. Définir et utiliser l'hypothèse du régime permanent. Utiliser la loi de Fourier pour une analyse qualitative d'un problème simple.</p> <p>Effectuer les analogies entre les grandeurs intervenant dans ces deux phénomènes. Définir la résistance thermique et la résistance diffusive en régime permanent. Connaître et utiliser les lois d'associations de ces résistances.</p>
<p>Conduction électrique.</p> <p>Théorie sommaire de la conduction électrique dans un métal en régime permanent : vitesse limite et mobilité (en se limitant à l'étude du mouvement d'un électron dans un barreau cylindrique « AB » de section constante S, de longueur ℓ et siège d'un champ électrique \vec{E} constant dont on n'explicitera pas l'origine). Définition du potentiel électrique d'après l'énergie potentielle électrostatique $E_p = q.V$</p>	<p>Définir un courant électrique. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un électron plongé dans un champ électrique \vec{E} uniforme et constant au cours du temps et subissant une force de « frottement » visqueux de la part du réseau cristallin. Etablir l'expression vectorielle de la vitesse limite. Définir la mobilité. Déterminer l'expression de l'énergie potentielle électrostatique pour un champ constant. Faire le lien entre les concepts de potentiel et de tension électrique en relation avec le cours</p>

<p>Vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Intensité du courant électrique : Flux de charge à travers une surface S. Définition et expression générale $I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$. Cas particulier : $I = j \times S$.</p> <p>Conductivité.</p> <p>Loi d'Ohm : résistance électrique $R = \frac{V_A - V_B}{I}$</p>	<p>d'oxydoréduction (potentiel de Nernst, f.e.m d'une pile).</p> <p>Définir un courant électrique comme un mouvement d'ensemble de particules portant une charge électrique. Utiliser cette définition pour obtenir, par analogie avec le phénomène de diffusion, l'expression du vecteur densité de courant électrique.</p> <p>Définir la conductivité σ . Justifier la loi d'Ohm locale sous la forme :</p> <p>$j = -\sigma \frac{dV}{dx}$ ou $j = -\sigma \frac{dV}{dr}$ selon le paramètre d'étude, pour le cas d'un champ constant.</p> <p>Définir, par analogie avec le phénomène de diffusion, le flux de charge à travers une surface S dans le cas où le vecteur densité de courant est homogène sur S et orthogonal à S en tout point. Reconnaître les cas de simplification à bon escient de l'expression générale du flux.</p> <p>Définir, par analogie avec les phénomènes de diffusion et de conduction, la résistance électrique d'un barreau cylindrique de section constante S et de longueur ℓ .</p> <p>Mesurer la résistance d'un conducteur ohmique.</p>
<p>2. Cinématique des fluides</p>	
<p>Particule de fluide : définition, variation continue des propriétés locales.</p>	<p>Définir l'état fluide. Identifier les propriétés locales d'un fluide (masse volumique, pression, température et vitesse). Utiliser le coefficient de compressibilité isotherme pour différencier les liquides des gaz.</p>
<p>Fluide en mouvement et champ des vitesses.</p> <p>Ecoulements permanent, transitoire, unidimensionnel.</p>	<p>Définir et représenter une ligne de courant et un tube de courant.</p> <p>Définir et repérer un régime permanent d'écoulement par opposition à un régime transitoire. Définir et repérer un écoulement unidimensionnel.</p>
<p>Débit volumique : $D_V = \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S}$.</p> <p>Débit massique : $D_m = \iint_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{S}$.</p> <p>Bilan de masse sans recourir à l'équation locale de conservation de la masse : flux de masse et de volume.</p>	<p>Définir les débits volumique et massique dans le cas d'un fluide incompressible. Donner leur expression et établir le lien entre les deux expressions. Simplifier ces expressions dans le cas d'un écoulement unidimensionnel perpendiculaire à une section droite S d'un tube d'écoulement. Montrer et utiliser le fait qu'en régime permanent le débit massique est conservatif</p>

	quelque soit le fluide. Montrer et utiliser le fait que pour un fluide incompressible, le débit volumique est conservatif.
3. Dynamique des fluides	
<p>Bilan d'énergie pour un fluide incompressible en régime d'écoulement permanent, sur un système ouvert à frontière fixe ou sur un système fermé à frontière variable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - variation d'énergie mécanique - variation d'énergie interne - travail des forces extérieures de pression. - travail machine (travail indiqué) - travail des forces de frottement. <p>Théorème de Bernoulli.</p> <p>Charge : définition comme la somme des énergies potentielle et cinétique par unité de volume et de la pression (assimilable à une énergie par unité de volume dans le cas d'un écoulement permanent incompressible). Charge hydraulique : définition (en mètre de colonne d'eau).</p>	<p>Maîtriser le choix du système, la nature de la transformation, avant de présenter le bilan d'énergie. Identifier le volume de contrôle. Présenter le bilan d'énergie.</p> <p>Etablir le théorème de Bernoulli par application du premier principe de la thermodynamique au système fermé et préciser les hypothèses de travail.</p> <p>Définir la charge. Définir la charge hydraulique. Utiliser dans l'expression de l'énergie cinétique, la vitesse débitante (même si le profil de vitesse n'est pas uniforme sur une section).</p>
<p>Applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tube de Venturi, mesure des débits - tube de Pitot, mesure des vitesses - circulation d'un liquide dans une canalisation. <p>Les expressions des pertes de charges ne sont pas exigées.</p>	<p>Déterminer un débit grâce au tube de Venturi. Déterminer une vitesse grâce au tube de Pitot. Analyser la circulation d'un liquide dans une canalisation sous l'effet de la gravité et / ou d'une pompe.</p> <p>Mesurer un débit ou une vitesse.</p>
4. Viscosité des fluides newtoniens	
<p>Viscosité : approche expérimentale, exemples, cas de la contrainte visqueuse par cisaillement plan.</p> <p>Viscosité dynamique.</p> <p>Fluides newtoniens.</p>	<p>Présenter une expérience simple mettant en évidence la viscosité des fluides. Définir et reconnaître un fluide newtonien.</p>
<p>Nombre de Reynolds : description qualitative des différents régimes d'écoulement (laminaire, turbulent), nombre sans dimension.</p>	<p>Prédire grâce à la donnée du nombre de Reynolds le régime d'écoulement, notamment dans le cas d'un écoulement en conduite cylindrique de section circulaire.</p>
<p>Loi de Poiseuille : expression sans démonstration, analogie entre écoulements visqueux plan et cylindrique, profil des vitesses, cas de l'écoulement permanent établi dans un tube cylindrique de section circulaire.</p>	<p>Vérifier l'homogénéité dimensionnelle. Commenter le sens de variation de la perte de charge en fonction des différents paramètres. Connaître le profil des vitesses parabolique. Connaître les conditions de validité et commenter le fait que la linéarité entre perte de charge et débit n'est plus vérifiée en écoulement turbulent.</p> <p>Activité documentaire : étudier la perte de charge dans la circulation sanguine artérielle et veineuse.</p>