Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION

Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 3

Programmes de sciences de la vie et de la Terre

1ère et 2nde années

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION
Liberté
Égalité
Fraternité

Classe préparatoire TB

Technologie et biologie

PROGRAMME DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

PRÉAMBULE COMMUN AUX PROGRAMMES DE BIOTECHNOLOGIES ET DE SVT

La mise en œuvre des programmes de Biotechnologies et de sciences de la vie et de la Terre (SVT) doit permettre aux futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs et enseignants de se constituer une culture scientifique et technologique solide dans le domaine des sciences du vivant et aux interfaces avec les sciences de la Terre.

Ces programmes, avec ceux des autres disciplines scientifiques, visent à développer chez les étudiants « la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée » (Commission des Titres d'Ingénieur). Les connaissances et les compétences travaillées au lycée sont nécessairement approfondies et développées en classe préparatoire, afin d'élaborer un panorama scientifique et technologique actualisé et de permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la formation choisie en école. Pour cela, ces deux programmes ont été élaborés par des groupes de travail intégrant des professeurs des écoles nationales vétérinaires, écoles d'ingénieurs et écoles normales supérieures aux côtés d'enseignants des classes concernées. Ils sont destinés aux professeurs de TB et à leurs étudiants, mais également aux professeurs de lycée, comme aux interrogateurs de concours et aux enseignants des écoles.

À l'issue de la formation, les étudiants issus de TB disposent des bases scientifiques et technologiques solides dans tous les champs nécessaires pour répondre aux enjeux-clefs du XXI^{e} siècle : changement climatique, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, alimentation de qualité pour tous, santé dans une logique *One Health*, gestion des ressources naturelles, gestion durable des sols, transition énergétique, bioéthique, etc.

La complémentarité des enseignements des Biotechnologies et des SVT

Les enseignements de Biotechnologies et de SVT sont complémentaires dans l'étude d'objets et de phénomènes communs. Les liens entre ces deux programmes sont nombreux. Afin de donner du sens aux apprentissages et de construire une progression conceptuelle cohérente, une coordination est indispensable entre les enseignants de Biochimie - Génie Biologique (BGB) et de SVT au service de la compréhension des concepts par les étudiants. Il est en effet essentiel d'aider les étudiants à articuler les apports des deux disciplines et de ne pas laisser à leur charge la mise en cohérence des savoirs construits en Biotechnologies et en SVT. Le programme a été élaboré pour faciliter le repérage de la complémentarité des enseignements et les liens sont précisés pour chaque thème d'étude au sein des programmes de Biotechnologies et de SVT. Des phénomènes biologiques sont étudiés conjointement mais avec des regards différents, comme l'illustrent les quatre exemples suivants, parmi de nombreux liens existants.

• Le métabolisme est étudié dans ses processus biochimiques à l'échelle cellulaire et moléculaire en Biotechnologies. La compréhension fondamentale de ces mécanismes est mise au service d'applications biotechnologiques comme l'identification bactérienne, le choix de milieu de culture et

le génie fermentaire. En SVT, le métabolisme est envisagé dans un cadre physiologique. Il s'agit alors, à partir du bilan global des voies métaboliques étudiées en amont en Biotechnologies ou approfondies en aval, de comprendre notamment l'importance du stockage de molécules de réserve et de leur mobilisation dans le fonctionnement de la plante à différentes échelles temporelles ainsi que dans le fonctionnement de la cellule musculaire.

• En génétique, les Biotechnologies se focalisent sur le modèle bactérien dans une visée technologique : amplification génique, hybridation moléculaire, séquençage et génie génétique. Les SVT envisagent le modèle eucaryote afin de comprendre l'expression, le maintien et la diversification génétique et remobiliser ces concepts dans plusieurs thèmes de SVT tels que le développement des animaux et des plantes ou l'évolution biologique.

• Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote sont étudiés en Biotechnologies sous l'angle du rôle des microorganismes et des processus métaboliques responsables des flux de carbone ou d'azote d'origine biologique. Les SVT traitent quant à elles la dimension systémique des cycles en intégrant les différents réservoirs et les flux d'origine géologique afin d'appréhender les différentes échelles spatiales et temporelles ainsi que la place des actions anthropiques dans la modification des cycles.

• La systématique des microorganismes est étudiée de façon complémentaire par les deux disciplines. Les Biotechnologies permettent d'identifier les différents types de microorganismes à l'aide de la classification alors que les SVT les positionnent dans l'arbre du vivant et élaborent des scénarios évolutifs sur la base d'analyses phylogénétiques.

Ces différences d'approche et de points de vue visent à favoriser le développement conceptuel ainsi que l'appropriation des finalités propres à chaque discipline et à éviter toute dissonance préjudiciable à la compréhension des étudiants.

La contribution des Biotechnologies et des SVT au développement de compétences

• Compétences scientifiques et technologiques

Les Biotechnologies et les SVT contribuent au développement de compétences scientifiques et technologiques. Des formes d'enseignement interdisciplinaire développées au laboratoire, dans le cadre de travaux pratiques, et sur le terrain, permettent aux étudiants de mettre en œuvre des compétences spécifiques aux deux disciplines au service de la résolution de problématique sur des objets scientifiques communs. Chaque équipe pédagogique définit les activités permettant aux étudiants de développer ces compétences, chaque fois que possible par une approche interdisciplinaire. Les compétences disciplinaires spécifiques, scientifiques et technologiques, sont présentées dans chaque programme.

Les Biotechnologies et les SVT contribuent avec les autres enseignements de TB au développement de compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles.

• Compétences transversales et linguistiques

Le développement de compétences transversales et linguistiques atteste d'une autonomie de travail et d'analyse, d'une capacité d'engagement dans des projets collectifs, d'une capacité de distance critique et d'une communication aisée, que ce soit par les outils mobilisés ou l'expression personnelle en français et dans au moins une langue vivante étrangère.

- Adopter un comportement éthique, déontologique et responsable.
- Coopérer et collaborer dans le cadre d'activités ou de démarches de projet, dans et hors la classe.
- Se mettre en recul d'une situation, s'autoévaluer et se remettre en question pour apprendre.

• Utiliser les outils numériques de référence et les règles de sécurité informatique pour acquérir, traiter, produire et diffuser de l'information ainsi que communiquer.

• Se servir aisément de la compréhension et de l'expression écrites et orales dans au moins une langue vivante étrangère.

• Compétences préprofessionnelles

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

• Identifier les différents champs professionnels et les parcours permettant d'y accéder.

• Identifier les enjeux et contraintes des champs professionnels.

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

PRÉAMBULE SPÉCIFIQUE AU PROGRAMME DE SVT

Contenus et organisation des programmes

Le programme de SVT des classes de TB se structure en trois grandes thématiques : sciences de la vie, sciences de la Terre et biogéosciences (domaine se situant à l'interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre).

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

• **En sciences de la Terre,** le programme introduit des problématiques géologiques en utilisant deux approches complémentaires : pétrographique et cartographique, à partir de l'étude de la carte de la France au 1/1000.000. Une vue d'ensemble des grands ensembles géologiques de la France métropolitaine est d'abord construite avant de préciser l'étude des roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre. L'importance des mécanismes biologiques y est soulignée comme l'intérêt des archives sédimentaires pour comprendre l'histoire de la Terre.

• **En biogéosciences,** le programme met en exergue les grands enjeux scientifiques et sociétaux du XXI^{e} siècle, le plus souvent des sujets se situant aux interfaces disciplinaires. Leur étude s'appuie sur des convergences entre sciences de la vie et sciences de la Terre, se matérialisant dans certains domaines de recherche actuels. Les grands cycles biogéochimiques, le sol et le climat de la Terre sont des thèmes indispensables à la formation de base d'un futur ingénieur, vétérinaire, chercheur ou décideur par la vision systémique et interdisciplinaire qu'ils apportent. Ces trois thèmes permettent aux étudiants de bâtir une compréhension scientifique de systèmes complexes aux différentes échelles de temps et d'espace et d'interroger l'interaction entre les activités humaines et les phénomènes naturels. La partie sur le sol présente cette mince pellicule à l'interface entre la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère, construite en interaction avec les êtres vivants. Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, en particulier de services d'approvisionnement liés à la production alimentaire et constituent une ressource actuellement menacée. La compréhension de leur organisation fonctionnelle implique une approche plurielle mobilisant différents champs disciplinaires. La partie sur les grands cycles biogéochimiques permet de comprendre les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément et d'envisager les spécificités des cycles du carbone et de l'azote. Elle est remobilisée pour comprendre la place du cycle du carbone et de l'azote dans le climat de la Terre. Enfin, la partie sur le climat de la Terre débute par la compréhension de l'organisation et de la dynamique des enveloppes fluides (océan et atmosphère) qui constituent des acteurs clefs du système climatique. Les changements climatiques sont l'occasion de mettre en lien variabilité climatique et reconstitution des paléoenvironnements. Enfin, les conséquences sur la biodiversité des variations climatiques actuelles, d'origine anthropique, sont envisagées.

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

Thématiques et parties	**TB 1**	**TB 2**
Thématique « Sciences de la vie » (SV)		
SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement	x	
SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie	x	x
SV-C La cellule dans son environnement	x	x
SV-D Génomique structurale et fonctionnelle	x	
SV-E Reproduction	x	
SV-F Mécanismes du développement chez les Vertébrés		x
SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme		x
SV-H Populations et écosystèmes		x
SV-I Évolution et phylogénie	x	x
Thématique « Biogéosciences » (BG)		
BG-A Les grands cycles biogéochimiques		x
BG-B Les sols	x	
BG-C Le climat de la Terre		x
Thématique « Sciences de la Terre » (ST)		
ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine	x	
ST-B Le phénomène sédimentaire	x	

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans la mise en œuvre de ce programme, les professeurs gardent la liberté d'organiser leur enseignement comme ils le souhaitent, dans la limite du découpage sur les deux années et en tenant compte de la formation antérieure des étudiants (filière STL, avec spécialité Biochimie-biologie-biotechnologie ou spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire ou filière STAV).

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

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

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

La nature des savoirs scientifiques et leur élaboration

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

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

Activités et recherches de terrain

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

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

Les activités de terrain permettent d'étudier des objets et des structures biologiques et géologiques situés à distance de l'établissement (écosystèmes, sols, etc.). D'autres activités peuvent se dérouler dans l'enceinte de l'établissement ou à proximité, telles que l'étude de la biodiversité, par exemple dans le cadre de programmes de sciences participatives.

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

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

Activités et recherches de terrain
• S'orienter sur le terrain et se localiser sur une carte (topographique, géologique, de végétation, pédologique).
• Analyser un paysage : identifier et caractériser des unités dans le paysage, incluant la description des groupements végétaux, du substratum géologique, de la topographie et des usages par l'être humain ; déterminer les liens de causalité qui unissent ces différentes composantes ; expliquer la dynamique des unités paysagères, souvent liée à leur usage présent ou passé.
• Déterminer les espèces principales dans un écosystème.
• Collecter des données et les confronter à des bases de données pour les vérifier, les enrichir, les mettre en relation (identification d'espèces, nature de roches, ...).
• Proposer un protocole de caractérisation des paramètres abiotiques locaux et saisir des données de terrain (température ; hygrométrie ; luminosité ; vitesse du vent…) en les confrontant à des données météorologiques moyennes sur un temps long afin de caractériser le biotope d'un écosystème.
• Mettre en œuvre un protocole d'étude de la biodiversité sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés (méthode des quadrats, transect, pièges, écoutes…) incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation) pour répondre à un problème scientifique.
• Estimer l'abondance et la densité d'une population, la richesse spécifique d'un écosystème par une étude de terrain.
• Réaliser une étude pédologique sur le terrain (profil d'un sol brun et caractérisation des horizons – couleur, texture, pH…-, étude de la litière et du type d'humus, observation de la faune du sol et de ses manifestations). Synthétiser les observations en lien avec la roche-mère, la végétation, la topographie et le climat.
• Caractériser certains aspects du fonctionnement d'un écosystème à partir d'observations de terrain (traces, nids, restes alimentaires, relations parasitaires ou symbiotiques, etc.) qui témoignent d'interactions entre les composants biotiques du système.
• Rendre compte d'observations de terrain sous différentes formes (photographie, film, croquis ou dessin, carte, texte, réalité augmentée).
• Observer, décrire, identifier des objets géologiques à différentes échelles (roche, affleurement et paysage) lors d'une étude de terrain.

• Reconstituer, analyser et représenter les objets dans les trois dimensions de l'espace lors d'une étude de terrain.

• Intégrer des données de terrain dans un système d'information géographique (SIG).

• Passer de la réalité complexe du terrain à des représentations simplifiées correspondant à des hypothèses explicatives.

• Mettre en relation des données de terrain avec un modèle pour l'infirmer, le conforter ou en dégager les limites.

Les compétences attendues

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

• les connaissances sont constituées des faits, chiffres, concepts, théories et idées qui sont déjà établis et viennent étayer la compréhension d'un certain domaine ou thème ;

• les aptitudes sont définies comme la capacité d'exécuter des processus et d'utiliser les connaissances existantes pour parvenir à des résultats ;

• les attitudes décrivent les dispositions et mentalités permettant d'agir ou de réagir face à des idées, des personnes ou des situations.

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

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

- **Compétences de la démarche scientifique**

Chaque champ de compétences est illustré par un ensemble de compétences et de capacités associées qui permet d'en préciser le contour, sans pour autant constituer une liste exhaustive. L'ordre de présentation de ces compétences ne préjuge pas d'un ordre de mobilisation de ces dernières lors d'une

[1] Recommandation du Conseil du 22 mai 2018 relative aux compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie.
[2] À titre d'exemples : référentiel national pour le diplôme vétérinaire (décembre 2017), compétences de l'ingénieur (référentiel de la commission des titres d'ingénieur CTI, 2016)
[3] L'organisation des compétences en trois blocs est partagée avec le référentiel de licence (2015) : https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61532/les-referentiels-de-competences-en-licence.html

activité. Dans leur grande majorité, elles sont communes à celles qui sont mises en œuvre dans d'autres enseignements scientifiques comme ceux de physique et de chimie ou de Biotechnologies.

Les compétences doivent être acquises à l'issue des deux années de formation en CPGE. Elles nécessitent d'être régulièrement mobilisées par les étudiants et sont évaluées en s'appuyant, par exemple, sur l'utilisation de grilles d'évaluation. Pour atteindre le plein niveau de maîtrise de ces compétences et de ces capacités, les étudiants doivent progressivement développer, dans les différentes activités proposées par le professeur, leur autonomie, leur esprit d'initiative et leur esprit critique.

Champs de compétences	**Exemple de compétences et de capacités associées**
S'approprier et problématiser	— Rechercher, collecter, extraire et organiser de l'information ou des données en lien avec la situation étudiée. — Conduire l'observation d'un objet ou d'un phénomène à différentes échelles spatiales et temporelles. — Exploiter la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, …) — Énoncer ou dégager une problématique scientifique en prenant en compte ses différents aspects (technique, scientifique, sociétal). — Représenter la situation par un schéma modèle. — Identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole. — Relier le problème à une situation modèle connue. — Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser	— Formuler des hypothèses. — Décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples. — Proposer une stratégie pour répondre à une problématique. — Choisir, concevoir, justifier un protocole expérimental ou d'observation, un modèle ou des lois physiques. — Estimer des ordres de grandeur. — Proposer des analogies — Identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations. — Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.
Réaliser	— Mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle. — Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une situation réelle, d'une photo, d'une vidéo. — Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure, un objet biologique ou géologique. — Utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant les règles de sécurité et d'éthique. — Construire des représentations graphiques à partir de données. — Mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation, effectuer des applications numériques. — Évaluer des ordres de grandeur. — Conduire une analyse dimensionnelle.

Valider	— Exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes. — Discuter de l'exhaustivité ou de la représentativité d'un échantillonnage. — Confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document ou dans de la bibliographie scientifique, à ses connaissances. — Discuter de la recevabilité d'une hypothèse. — Analyser les résultats de manière critique. — Repérer les points faibles d'une argumentation (incohérence, contradiction, partialité, incomplétude, …). — Proposer des améliorations de la démarche, de l'expérience ou du modèle.
Communiquer	— À l'écrit comme à l'oral : ◦ présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée, cohérente et argumentée. ◦ rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation. ◦ appuyer son propos sur des supports appropriés ◦ utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, représentations graphiques, cartes mentales, etc.). ◦ citer l'origine des sources utilisées. — Écouter, confronter son point de vue.

Les compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles sont présentées dans le préambule commun aux programmes de Biotechnologies et de SVT.

<u>Les méthodes et les techniques (mises en œuvre au laboratoire et sur le terrain)</u>

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

Biologie moléculaire et cellulaire Spécifiquement pour ces techniques qui recouvrent les méthodes vues en Biotechnologies, seule l'exploitation des résultats est attendue et exigible en SVT, les principes des méthodes et leur mise en œuvre ne sont pas présentées à nouveau en SVT.
Interpréter le résultat de croisements chez les organismes diploïdes : - gènes indépendants ou liés ; - allèles récessifs, dominants ou codominants ; - identification des brassages génétiques. Exploiter des méthodes d'étude de l'organisation des génomes : - exploitation d'une électrophorèse d'ADN ; - réalisation et exploitation d'une comparaison de séquences à l'aide de logiciels ; - exploitation de données utilisant la méthode du Southern blot. Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude de l'expression des génomes : - transgenèse, mutagenèse dirigée et aléatoire ; - northern blot, hybridation *in situ*, utilisation de gène rapporteur, western blot, puce à ADN, PCR et RTPCR. Exploiter des données utilisant des méthodes d'étude des protéines : - profil d'hydropathie, western blot, immunomarquage, électrophorèse en conditions natives et dénaturantes ; - exploiter le suivi d'une réaction enzymatique et ses paramètres cinétiques.

Exploiter des données permettant l'étude de communications intercellulaires :
- ablation et greffe de groupes de cellules, application de facteurs diffusibles ;
- enregistrements de patch-clamp, mesures de potentiel de membrane, mesure de conductance.

Microscopie

Réaliser une préparation de microscopie optique, y compris des coupes à main levée, avec ou sans coloration.
Mettre en œuvre un protocole de coloration adaptée à la problématique biologique.
Utiliser le colorant adapté pour mettre en évidence un tissu ou des molécules.
Réaliser une observation en microscopie optique :
- objectifs et grossissement, intensité lumineuse, diaphragme, mise au point, utilisation de l'huile à immersion.

Déterminer un ordre de grandeur ou la taille d'un objet à partir d'une échelle ou d'un grossissement.
Identifier une technique de microscopie.
Exploiter des clichés de microscopie :
- optique, électronique, à fluorescence.

Étude morpho-anatomique

Réaliser une dissection florale :
- prélèvement de pièces et observation avec les outils adaptés ;
- présentation des pièces florales afin de faire ressortir leur nombre, leur position relative et les soudures éventuelles.

Réaliser une dissection animale :
- mise en valeur d'un organe et de ses liens anatomiques avec d'autres organes, en les dégageant des structures les masquant ;
- orientation de l'animal et positionnement des légendes ;
- prélèvement de parties d'appareils ou d'organes et observation avec les outils les plus adaptés.

Étude cartographique

Utiliser une carte géologique, associée à un corpus documentaire :
- identification des principaux ensembles géologiques de la carte de France au millionième ;
- reconstitution d'une histoire géologique ;
- reconstitution d'un paléoenvironnement, à partir de données sédimentaires ;
- identification de ressources géologiques d'origine sédimentaire.

Géochimie et géophysique

Exploiter des données sur l'altération des roches, notamment à l'aide du diagramme de Goldschmidt.
Exploiter des données de granulométrie à l'aide du diagramme de Hjulström.
Déterminer les caractéristiques physico-chimiques d'un sol :
- détermination de la granulométrie d'un sol, mesure de la porosité du sol ;
- mesure du pH du sol, mise en évidence des constituants de l'humus, mise en évidence de la capacité d'échange cationique (CEC) par l'utilisation d'éosine et de bleu de méthylène.

Exploiter des données géochimiques permettant de caractériser le climat : $\delta^{18}O$.

Étude d'un objet dans son environnement

S'orienter et se localiser sur le terrain et sur une carte.
Analyser un paysage ou un affleurement :
- identification et caractérisation des unités biologiques et écologiques, des usages anthropiques et des liens entre ces unités ;
- description de l'affleurement, mise en relation des différentes composantes identifiées et de leur relation à différentes échelles ;
- interprétation par confrontation des observations et de leur analyse à des modèles ou des données.

Collecter des données sur le terrain :
- identification d'espèces, de roches, mesure de paramètres du biotope ;
- mise en œuvre de protocole d'étude de la biodiversité ;
- réalisation d'une étude pédologique d'un sol.

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

Identification et classification
Utiliser diverses clefs de détermination (dont des flores) et des outils numériques de détermination pour identifier un échantillon d'origine biologique ou géologique : - sélection des critères et des caractéristiques de l'objet les plus pertinentes pour son identification ; - choix de l'outil de détermination le plus adapté. Identifier une roche à partir d'un échantillon macroscopique : - roches magmatiques : basaltes, granites ; - roches métamorphiques : gneiss ; - roches sédimentaires : calcaires, conglomérats, grès, argilites, marnes, halite, gypse-anhydrite, bauxite ; Identifier à l'œil nu des minéraux : - feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite) ; Identifier de manière argumentée le stade de développement embryonnaire d'un Amphibien. Identifier de manière argumentée un organe, un tissu ou un type cellulaire : - bactérie, cellule musculaire striée squelettique, cardiomyocyte, cellule du parenchyme palissadique, entérocytes ; neurone ; - artère, capillaire, veine, muscle strié ; - tissu épithélial et conjonctif ; - épiderme, rhizoderme, xylème I et II (bois), phloème I et II (liber), parenchymes, collenchyme, sclérenchyme, méristèmes, suber, phelloderme. Exploiter des données morpho-anatomiques ou moléculaires pour positionner un organisme dans un arbre phylogénétique ou construire une phylogénie : - construction d'une matrice taxons-caractères ; - polarisation de caractères ; - construction d'arbres phylogénétiques et application du principe de parcimonie.
Utilisation des outils numériques
Utiliser un tableur informatique : exploitation graphique des données (construire un histogramme, tracer une corrélation entre deux variables, tracer une droite de régression linéaire…), réaliser des calculs. Utiliser un logiciel de modélisation : choix des paramètres pour répondre au problème posé. Utiliser une base de données. Exploiter les données d'un système d'information géographique (SIG).
Présentation des résultats
Réaliser un dessin d'observation avec les conventions usuelles : - fidélité, sélection des structures pertinentes, légendes, titre, échelle, orientations. Réaliser un schéma avec figurés conventionnels (les figurés restant à la disposition des étudiants). Réaliser un diagramme et/ou une formule florale. Représenter des pyramides de productions, de biomasse. Représenter les données sous forme graphique : - choix des axes, échelle pertinente, titre, unités. Présenter de manière pertinente un objet biologique (coupe, prélèvement et montage, annotation, présentation comparative, schéma, dessin, échelle). Présenter sous une forme pertinente des observations de terrain : - photographie géolocalisée, film, dessin, schéma, texte, carte.

THÉMATIQUE « SCIENCES DE LA VIE »

SV-A L'organisme vivant en lien avec son environnement (TB1)	
Cette partie vise à présenter l'organisation du vivant (appareils, organes, tissus, …) et les grandes fonctions qui lui sont associées ainsi que des interrelations entre ces organismes et leur environnement. Le concept d'organisme pluricellulaire est abordé à partir de deux exemples : un Vertébré phytophage Bovidé, la vache, et une Angiosperme Fabacée.	
Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé	
Les vaches appartiennent au groupe des Métazoaires et à la famille des Bovidés. Les différents appareils de l'organisme sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. La compartimentation de l'appareil digestif permet l'ingestion d'aliments (hétérotrophie), suivie par leur simplification en nutriments et leur absorption ou par leur égestion. Le microbiote du rumen par son action participe à la production de nutriments utilisés par la vache. Les nutriments sont distribués dans l'ensemble de l'organisme par l'appareil circulatoire et entrent ainsi dans le métabolisme cellulaire. L'appareil respiratoire assure les échanges gazeux liés au métabolisme énergétique aérobie. L'appareil excréteur élimine les déchets azotés et contribue à l'équilibre hydrominéral de l'organisme.	- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique des Métazoaires. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien. - Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition. - Argumenter la complémentarité, la coopération et la coordination fonctionnelles des différents appareils.
Précisions et limites : *Les caractéristiques anatomo-physiologiques liées à l'adaptation au milieu aérien sont présentées succinctement pour les appareils respiratoire, excréteur, reproducteur et pour des organes liés à la fonction de relation.* *La composition et contribution du microbiote de la vache est limitée à celui du rumen et de l'intestin.*	
L'appareil reproducteur est le lieu de production des gamètes (méiose et différenciation) et de sécrétion d'hormones. C'est également le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel. La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité permet la sélection.	- Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes.
Précisions et limites : *La diversité des modalités de sélection est présentée à travers deux exemples seulement.* *L'existence d'un contrôle hormonal de la reproduction est seulement mentionnée pour la production des gamètes et la gestation.*	
L'organisme est en interaction avec son environnement biotique et abiotique. La vache est incluse dans différents systèmes de relations intraspécifiques et interspécifiques (dont les relations avec l'être humain responsable de la domestication des animaux d'élevage). Les relations interspécifiques avec les microorganismes définissent l'organisme comme un holobionte.	- Différencier et illustrer les différents types de relations interspécifiques impliquant la vache.

La survie individuelle des organismes dépend de leur perception du milieu et de leur capacité de réaction et/ou de leurs systèmes de protection. Les informations perçues par les récepteurs sensoriels sont intégrées au niveau du système nerveux central qui élabore des réponses. Le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus met en jeu son squelette et les muscles striés associés. Le tégument joue un rôle d'isolant thermique et de barrière contre les pathogènes et les parasites. Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent une réponse de l'organisme. Une boucle de régulation permet le retour à une valeur de consigne d'un paramètre physiologique suite à sa variation et grâce à l'intervention de différents effecteurs.	- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme.
Précisions et limites : *Aucune description d'aire sensorielle spécialisée n'est exigible.* *On remobilise le concept de boucle de régulation de la glycémie abordé au lycée.*	
Le fonctionnement de tous les Métazoaires repose sur les mêmes grandes fonctions réalisées par des structures similaires ou non suivant les taxons. Des structures réalisant la même fonction dans deux organismes différents peuvent être homologues ou convergentes. Des convergences marquent l'adaptation des organismes à leur milieu et leur mode de vie.	- Réaliser l'observation morphologique et la dissection : • d'un Vertébré Mammifère Rongeur (la souris) ; • d'un Vertébré Téléostéen ; • d'un Arthropode Hexapode (le criquet) ; • d'un Mollusque Bivalve (la moule). - Utiliser des caractéristiques morphologiques et anatomiques pour déterminer la position systématique de l'animal. - Mettre en lien les structures morphologiques et anatomiques observées sur les animaux disséqués avec les fonctions de relation, nutrition (s.l.) et reproduction. - Comparer l'organisation morphologique et anatomique des différents Métazoaires étudiés. - Identifier des organes homologues ou convergents. - Identifier sur des coupes histologiques et légender sur des clichés de microscopie électronique les principaux tissus des appareils respiratoire, digestif et du tégument. - Formuler des hypothèses concernant les adaptations morpho-anatomiques au milieu de vie.
Précisions et limites : *On se limite aux fonctions dont les structures associées sont observables en travaux pratiques.* *Pour les dissections de Métazoaires citées, seuls sont au programme les appareils suivants :* • *Souris : appareils cardiovasculaire, respiratoire, digestif, uro-génital.* • *Vertébré Téléostéen : appareils digestifs, cardiorespiratoire et reproducteur.* • *Arthropode Hexapode : appareils digestif (pièces buccales incluses) et respiratoire (système trachéen).* • *Mollusque Bivalve : appareils respiratoire et reproducteur.* *À l'échelle microscopique, l'étude de l'adaptation au milieu et au mode de vie est centrée sur l'appareil respiratoire et le tégument. Pour l'appareil digestif, seules les coupes histologiques de l'intestin de Mammifère sont au programme.*	
Liens : Organisation fonctionnelle des appareils respiratoires et relation au milieu (SV-B-1) Organisation fonctionnelle de l'intestin de Mammifère (SV-C-1) Approvisionnement en matière organique des organismes hétérotrophes (SV-C-4) Catabolisme des nutriments (SV-C-4)	

Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4)
Gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères (SV-E-3)
Relations structure – fonction des organes de l'appareil cardio-vasculaire (SV-G-1)
Boucle de régulation (pression artérielle) et adaptation à l'exercice physique (SV-G-1)
Modalités des communications intercellulaires (SV-G-2)
Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-H-2-2)
Interactions trophiques dans les écosystèmes (SV-H-2-3)
Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-I-2-2)

SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée

Les Fabacées appartiennent au groupe des Embryophytes. Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à la plante de prélever la matière minérale et de convertir l'énergie lumineuse en énergie potentielle chimique nécessaire à la production de matière organique (autotrophie). Les organes « sources » coopèrent avec les organes « puits ».	- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une Fabacée au sein d'une classification phylogénétique d'Embryophytes. - À partir d'observations en classe et sur le terrain, distinguer les différents organes de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur d'une Angiosperme. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle des différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien. - Caractériser le développement de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle biologique et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ». - Construire un schéma fonctionnel synthétique de la plante.
L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique. Les facteurs anisotropes du milieu orientent la croissance de l'appareil végétatif. Les rythmes saisonniers conditionnent les différentes étapes du cycle de reproduction (floraison, pollinisation, fructification, vie ralentie des graines). La plante est impliquée dans différents systèmes de relations intra et interspécifiques. La symbiose Fabacée et bactérie *Rhizobium,* fixatrice d'azote dans les nodosités, augmente la biomasse de la Fabacée.	- Exploiter des résultats expérimentaux montrant le lien entre les anisotropies du milieu et les tropismes dans le cadre du gravitropisme. - Placer sur un cycle de reproduction les paramètres du milieu exerçant une influence et/ou un contrôle prédominant sur une étape de la vie de la plante. - Illustrer les principales relations interspécifiques entre une Angiosperme et des organismes de son milieu.
Précisions et limites : *Le fonctionnement détaillé des méristèmes est vu dans la partie SV-B-3. À ce stade on se limite à localiser les méristèmes. Les mécanismes cellulaires et moléculaires des tropismes ne sont pas exigibles.*	
Les végétaux sont des producteurs primaires et constituent des ressources alimentaires à la base des réseaux trophiques. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à une sélection par l'être humain en relation avec la diversification des usages.	- Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation).

Liens :
Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (SV-B-2)
Développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes (SV-B-3)
Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-B-1)
Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1)
Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-C-4)
Devenir de la matière organique (SV-C-4)
Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4)
Reproduction sexuée des Embryophytes (SV-G-1)
Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-H-2-2)
Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-I-2)
Différentes formes d'azote et cycle de l'azote (BG-A-2)
Les sols (BG-B)
Activités de terrain

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

L'étude de la respiration chez les Métazoaires et l'étude de la nutrition et du développement post-embryonnaire chez les Angiospermes sont l'occasion de présenter les interactions étroites entre les organismes et leur environnement, biotique et abiotique, et de caractériser des adaptations anatomiques, morphologiques ou physiologiques, observables à différentes échelles.
La fonction de respiration permet d'envisager les échanges gazeux entre l'organisme et son milieu de vie en relation avec les besoins physiologiques. Dans des milieux de vie comparables, on identifie des homologies et des convergences dans l'organisation des différentes structures.
L'analyse du fonctionnement et du développement d'un Angiosperme se construit autour de plusieurs problématiques.
L'organisme fixé, vivant à l'interface entre sol et atmosphère, puise ses ressources dans ces deux environnements assurant ainsi sa nutrition. Des corrélations trophiques et hormonales au sein de l'organisme assurent le fonctionnement intégré du végétal, en relation avec le rythme saisonnier en régions tempérées.
Les spécificités du développement végétatif et reproducteur des Angiospermes, en particulier la plasticité phénotypique, sont également à mettre en relation avec leur mode de vie fixée et l'intégration de signaux environnementaux. Certaines de ces adaptations rendent compte de convergence ou de régression évolutive entre les taxons.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-B-1 La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu (TB1)	
Les échanges respiratoires des Métazoaires sont réalisés au niveau de surfaces d'échange (spécialisées ou non), en lien avec les contraintes du milieu de vie. Les surfaces respiratoires spécialisées sont relativement étendues, fines, et en lien avec des dispositifs de renouvellement des fluides. Les échanges de gaz respiratoires s'opèrent par diffusion simple, suivant la loi de Fick. Dans le même milieu, pour des organisations différentes, des convergences fonctionnelles sont liées aux contraintes physico-chimiques du milieu de vie (aquatique ou aérien). La convection externe et la convection interne des fluides maintiennent les différences de pression partielle à travers l'échangeur. L'efficacité de l'extraction de dioxygène varie suivant les milieux et les taxons.	- À partir des dissections de Mammifère (la souris), de Téléostéen, d'Hexapode (le criquet) et de Mollusque Bivalve (la moule) : • dégager les grands traits de l'organisation des surfaces d'échanges respiratoires ; • relier les structures observables avec les modalités de renouvellement des fluides de part et d'autre des surfaces respiratoires observées ; • mettre en relation l'organisation des surfaces observées et les paramètres du milieu ; • repérer les homologies et les convergences dans l'organisation de ces différentes structures. - À partir de l'observation de préparations microscopiques ou de clichés d'histologie : identifier les caractéristiques structurales, à toutes les échelles, qui optimisent les échanges gazeux dans ces structures respiratoires.
Précisions et limites : *Les séances de TP « organisation fonctionnelle des Métazoaires » permettent d'envisager l'étude pratique de la fonction respiratoire. Les mécanismes de contrôle de la ventilation ne sont pas au programme.*	
L'hémoglobine est une molécule de transport des gaz respiratoires qui est présente dans les hématies de Mammifère. La quantité de transporteurs limite la quantité de dioxygène transportée et l'activité de l'organisme. La modulation de la quantité de gaz échangés passe essentiellement par des variations contrôlées de la convection.	- Relier les propriétés de coopérativité de l'hémoglobine à ses capacités de fixation ou de relargage du dioxygène suivant les conditions locales. - Exploiter la courbe de saturation de l'hémoglobine et la mettre en lien avec les conditions physiologiques régnant dans les poumons et les autres tissus. - Expliquer l'action de différents paramètres sur le relargage tissulaire et la prise en charge pulmonaire du dioxygène par l'hémoglobine : teneur du sang en CO_2, teneur en 2,3 BPG des hématies, pH sanguin et température. Les relier aux conditions physiologiques.
Précisions et limites : *La seule molécule étudiée pour le transport de dioxygène est l'hémoglobine de Mammifère.* *Les mécanismes de l'érythropoïèse et de son contrôle sont hors programme.*	

Liens :
Appareil respiratoire d'un Bovidé (SV-A-1)
Échanges membranaires des gaz respiratoires (SV-C-3)
Biotechnologies : Cinétique des enzymes allostériques (2.2.5)

SV-B-2 Nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu (TB1)

SV-B-2-1 Absorption d'eau et d'ions dans le milieu de vie

La plante prélève la solution du sol par une absorption racinaire sélective d'eau et d'ions minéraux mettant en action des échanges transmembranaires passifs ou actifs. Cette absorption s'effectue soit directement à partir de la solution du sol par des poils absorbants soit, le plus souvent, grâce au fonctionnement de mycorhizes. Les mycètes impliqués dans ces associations symbiotiques augmentent la surface d'absorption mais assurent aussi une protection physico-chimique contre les pathogènes. L'absorption de l'eau suit les différences de potentiel hydrique dans la racine. Il existe une voie de circulation symplasmique et apoplasmique. L'absorption d'eau et d'ions est à l'origine de la sève brute qui circule dans le xylème. L'évapotranspiration foliaire et la poussée racinaire constituent deux moteurs complémentaires d'ascension de la sève brute.	- Mettre en lien les caractéristiques cellulaires des poils absorbants avec leur rôle. - Caractériser les différentes modalités des échanges transmembranaires permettant l'absorption de la solution du sol. - Estimer le sens et l'intensité des flux d'eau et d'ions à partir de valeurs de potentiel hydrique et de potentiel électrochimique. - Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques (colorées au carmino-vert ou bleu coton-lactique) pour : • identifier les caractéristiques structurales des ectomycorhizes ; • repérer les différents tissus traversés par la solution hydrominérale dans une racine ; • identifier les tissus conducteurs dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille. - Identifier dans une coupe d'organe végétatif d'Angiosperme les principaux tissus et relier leur structure avec leur fonction.

Précisions et limites :
L'étude anatomique se base sur des coupes transversales de limbe de feuille et des coupes transversales et longitudinales de tiges et racines.
La reconnaissance des tissus sur les coupes microscopiques colorées au carmino-vert concerne : les parenchymes (chlorophyllien et de réserve), le xylème, le phloème, l'épiderme, le rhizoderme, l'endoderme, le sclérenchyme, le collenchyme et les méristèmes.
L'identification des organes et de la position systématique à partir de préparations microscopiques s'appuie sur une clef de détermination simple.
Seul le fonctionnement général d'une mycorhize est à connaître, aucun mécanisme moléculaire n'est exigible.
L'étude anatomique se poursuit en TB 2 lors de séances portant sur le développement et les adaptations au milieu de vie.

SV-B-2-2 Échanges gazeux avec le milieu de vie

Les stomates permettent un flux d'eau par transpiration, qui met en mouvement la sève brute dans le xylème, tout en permettant les échanges de CO_2 et O_2 entre l'atmosphère externe et l'atmosphère interne du végétal. L'ouverture des stomates est contrôlée par différents facteurs du milieu : elle joue à la fois sur l'équilibre hydrique du végétal et sur son métabolisme.	- Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille pour : • identifier les espaces de circulation des gaz (stomates, chambres sous-stomatiques et méats/lacunes) ; • relier la localisation et la répartition des stomates avec l'orientation de la feuille. - Expliquer le lien entre l'ouverture des stomates et la montée de la sève brute.

Précisions et limites :
Les mécanismes moléculaires du contrôle de l'ouverture des stomates sont hors programme.
Les mécanismes de couplage avec la circulation de la sève élaborée sont hors programme.

SV-B-2-3 Distribution des assimilats photosynthétiques au sein du végétal

Les photosynthétats produits dans les organes sources sont distribués dans les organes puits via la sève élaborée. Les organes de réserve sont des organes puits/sources qui accumulent la matière organique. Les réserves	- Réaliser ou exploiter des préparations microscopiques de limbe de feuille (colorées au carmino-vert) pour : • identifier le phloème dans des coupes transversales et/ou longitudinales de racine, de tige et de limbe de feuille ;

sont accumulées/mobilisées avec une périodicité variable, quotidienne et/ou saisonnière. Au sein des nodosités développées dans l'appareil racinaire de Fabacée, des bactéries symbiotiques utilisant les assimilats de la plante sont capables d'utiliser le diazote et de le réduire en ammonium. Les cellules racinaires contenant les bactéroïdes produisent des molécules organiques azotées exportées dans le xylème. La formation de nodosités dépend de la fertilité du sol.	• identifier les structures de réserve d'un organe végétatif au choix à l'échelle de l'organe, de la cellule, des molécules ; • mettre en évidence des réserves amylacées ; - Formuler des hypothèses sur le moment et les modalités de mobilisation des réserves. - En prenant appui sur des coupes de nodosité, présenter l'organisation fonctionnelle de celle-ci. - Exploiter des données expérimentales afin d'identifier des mécanismes de contrôle de développement de nodosités suivant les teneurs en nitrates et ammonium dans le sol.
Précisions et limites : *Les mécanismes de charge du phloème sont hors programme.*	
Liens : Organisation générale fonctionnelle d'une Fabacée (SV-A-2) Organisation fonctionnelle d'une feuille d'Angiosperme (SV-C-1) Interaction entre un organisme pluricellulaire eucaryote et un microorganisme (SV-C-1) Transferts transmembranaires de l'eau et des solutés (SV-C-3) Oses, saccharose et amidon (SV-C-4) Approvisionnement en matière organique des organismes autotrophes (SV-C-4) Devenir de la matière organique (SV-C-4) Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2) Solution du sol (BG-B-1) Cycles biogéochimiques de l'azote et du carbone (BG-A-1 et BG-A-2) Biotechnologies : le monde microbien, unité et diversité (3.1) Activités de terrain	
SV-B-3 Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique (TB 2)	
SV-B-3-1 Développement végétatif à l'interface sol/air	
Les zones apicales comprennent des zones de division (mérèse) et de croissance cellulaire (auxèse). Elles contribuent à édifier l'axe racine-tige feuillée. Le méristème apical caulinaire est organogène et histogène. Son fonctionnement cyclique et itératif assure une croissance indéfinie de l'axe aérien. L'axe aérien est ainsi formé par une succession de phytomères. Le méristème apical caulinaire détermine aussi la position des différents organes aériens. Les cellules issues de la zone méristématique subissent généralement une croissance importante : l'auxèse. Cette dernière est contrôlée par l'auxine, une phytohormone. Elle provoque l'augmentation de la plasticité pariétale par acidification et l'accroissement du volume cellulaire par osmose. Dans un second temps, l'auxine contrôle la mise en place de nouveaux composants pariétaux. Les voies de différenciation cellulaire génèrent une diversité de tissus en affectant le contenu cytoplasmique et la structure pariétale des cellules. Les méristèmes secondaires se forment au sein des structures primaires. Le cambium produit des tissus secondaires (bois et liber) épaississant l'organe dans lequel ils se développent.	- Identifier les zones de croissance apicales d'une Angiosperme à l'échelle de l'organisme, des organes et des tissus. - Relier le fonctionnement du méristème apical caulinaire, avec le développement indéfini de la tige feuillée. - Estimer sur un rameau le nombre d'unités de végétation. - Exploiter des données expérimentales montrant le mode d'action à l'échelle cellulaire de l'auxine. - Comparer une cellule méristématique et une cellule différenciée (élément conducteur de xylème). - Réaliser des coupes transversales colorées de tiges et de racines avec des structures secondaires et identifier les différents tissus secondaires (bois, liber, suber, phelloderme).
Précisions et limites : *Aucune donnée sur le contrôle du fonctionnement du méristème apical caulinaire n'est exigible.*	

La voie de transduction de l'auxine et les mécanismes moléculaires de son transport ne sont pas au programme. Aucun mécanisme de différenciation cellulaire n'est étudié. On se limite à constater la diversité des cellules observables sur une coupe anatomique.

SV-B-3-2 Développement de l'appareil reproducteur

Le développement reproductif met en place la fleur par transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur, inflorescentiel ou floral. Le développement floral est notamment contrôlé par des gènes impliqués dans des activations en cascade. L'identité des organes floraux est déterminée par la combinaison d'expression de gènes homéotiques (modèle ABCDE).	- Exploiter des données afin de déterminer le caractère homéotique de certains gènes contrôlant l'identité des organes floraux.

Précisions et limites :
Seul le modèle ABCDE chez Arabidopsis thaliana *est présenté. La nomenclature des gènes impliqués n'est pas exigible.*

SV-B-3-3 Adaptations et plasticité phénotypique

Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre. Certaines de ces adaptations témoignent de convergences évolutives entre taxons phylogénétiquement éloignés ou de régression évolutive. D'autres variations morphologiques, anatomiques et physiologiques au sein d'une même espèce sont sous la dépendance de facteurs du milieu au cours de leur développement. On parle d'accommodation. Des facteurs abiotiques tels que les variations météorologiques au cours d'une année et entre les années influencent le développement végétatif (exemple de la production saisonnière du bois) et/ou reproducteur (exemple de la floraison). Des facteurs biotiques tels que des bactéries ou des mycètes influent sur le développement de la plante (formation de nodosités ou de mycorhizes), et participent à la nutrition d'un organisme à vie fixée. Un dialogue moléculaire entre la plante et un autre organisme permet la formation d'une structure chimérique impliquée dans la nutrition.	- Mettre en relation les modifications morpho-anatomiques observées sur des végétaux vivant en milieu sec (sclérophytes et malacophytes) ou aquatique avec les contraintes spécifiques liées aux conditions de milieu. - Discuter, à partir d'exemples, des convergences ou des régressions évolutives liées à des caractéristiques morpho-anatomiques. - Différencier adaptation et accommodation à partir d'exemples à partir d'exemples. - Mettre en relation le développement indéfini de l'appareil végétatif des Angiospermes avec un mécanisme d'accommodation : exemple des feuilles d'ombre et de lumière - Identifier le bois de printemps et le bois d'été formant les cernes du bois à l'échelle macroscopique et/ou microscopique - Exploiter des données pour montrer l'influence de la température (vernalisation) et de la lumière (photopériodisme) sur l'induction florale. - Présenter un modèle de contrôle épigénétique impliquant le gène FLC reliant les facteurs abiotiques et la floraison (organes percepteurs, relais hormonaux, gènes impliqués).

Précisions et limites :
L'existence d'hormones intervenant dans la floraison est simplement mentionnée sans aucune modalité d'action exigible. Aucun développement des mécanismes moléculaires de formation des mycorhizes et des nodosités n'est attendu.

Liens :
Développement végétatif et cycle de reproduction en milieu aérien ; interactions d'une plante avec son environnement abiotique (tropismes) et biotique (nodosité, mycorhize) (SV-A-2)
Organisation anatomique et histologique des organes végétatifs (SV-B-2)
Spécialisation des matrices extracellulaires (SV-C-1)
Cycle cellulaire, mitose (SV-D1-2)
Organisation et fonction de la fleur (SV-E-1)
Modalités d'action des hormones chez les animaux (SV-G-2)
Notion d'adaptation (SV-K-1) et notion de convergences et de régressions évolutives (SV-K-2)
Adaptation au changement climatique (BG-C-3)

SV-C La cellule dans son environnement (TB 1)

La cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant. L'objectif est de présenter les grands traits de l'organisation d'une cellule (membranes, compartiments cellulaires, cytosquelette) et de la matrice extracellulaire qui l'entoure, en envisageant leurs aspects dynamiques afin de faire émerger les grandes lignes de leur fonctionnement.
L'organisation fonctionnelle des cellules est abordée avec un nombre limité d'exemples, préférentiellement l'entérocyte de Mammifères, la cellule du parenchyme palissadique d'une Angiosperme et une bactérie Gram - (*Escherichia coli*, *Rhizobium sp.*). L'objectif n'est pas de réaliser une monographie à partir de chaque exemple proposé mais de les utiliser comme support pour illustrer le concept de cellule tout en montrant une diversité d'organisation et de fonctionnement, sans toutefois chercher l'exhaustivité des particularités de chaque type cellulaire.
Le métabolisme est envisagé à l'échelle cellulaire chez les Eucaryotes en remobilisant les différentes voies métaboliques vues à l'échelle moléculaire chez les microorganismes en Biotechnologies. Aucun mécanisme moléculaire n'est attendu dans le programme de SVT, l'accent étant mis sur l'intégration dans un cadre physiologique des différentes voies à l'échelle de la cellule et de l'organisme chez les Eucaryotes. Ce chapitre sera également l'occasion de remobiliser les différents types trophiques vus en Biotechnologies et revus par ailleurs dans le programme (en écologie et dans l'étude des cycles biogéochimiques et du fonctionnement des sols).
Cette vision d'ensemble est complétée par la partie génomique structurale et fonctionnelle (SV-D). Ces deux parties s'appuient sur les fondamentaux de biochimie abordés en Biotechnologies dans les parties biochimie des protéines (1.1), enzymologie et génie enzymatique (2.2), biologie moléculaire des acides nucléiques (4.1)). *In fine*, cet ensemble offre une vision intégrée de l'organisation fonctionnelle de la cellule dans son « milieu », qu'il s'agisse d'un organisme unicellulaire ou pluricellulaire.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme	
L'état pluricellulaire peut être décrit à différentes échelles : tissu, organe, appareil et individu. Différentes techniques de microscopie (optique, à épifluorescence et électronique -MEB et MET-) permettent d'étudier l'organisation des cellules et des tissus.	- Illustrer les différentes échelles en utilisant l'entérocyte et la cellule du parenchyme palissadique. - Comparer les techniques de microscopie (types d'objets observés, taille des structures observées, domaines d'application). - Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (divers types cellulaires). - Exploiter une coupe d'intestin de Mammifère et une coupe transversale de feuille d'Angiosperme pour identifier les principaux types de tissus et préciser les relations structure-fonction.
Précisions et limites : *Les principes généraux et les objectifs des techniques de microscopie attendues sont à connaître. La technique de microscopie confocale et ses dérivés ne sont pas à connaître.* *Le détail du traitement des échantillons pour la microscopie n'est pas à mémoriser.* *Les ordres de grandeur à connaître se limitent aux types cellulaires étudiés dans les différentes parties du programme.*	
Les jonctions et les interactions cellule-matrice assurent la cohésion et participent à la communication entre cellules animales. Pour les Angiospermes, ces fonctions sont assurées par la paroi et les plasmodesmes. Les matrices extracellulaires présentent une structure en réseau dont l'organisation et la composition varient en fonction des organismes et des tissus. La paroi des cellules végétales est formée de cellulose, hemicellulose et de pectines.	- Identifier les principaux types de jonctions intercellulaires sur des clichés de microscopie électronique. - Schématiser l'organisation moléculaire en réseau des matrices extracellulaires animales d'un tissu conjonctif et d'un tissu épithélial et celle d'une paroi pectocellulosique. - Relier l'organisation en polymère, la structure tridimensionnelle et les propriétés physico-chimiques des macromolécules glucidiques à leurs fonctions de structure. - Relier la structure fibrillaire du collagène à ses propriétés mécaniques.

Les matrices extracellulaires animales sont formées de collagène, de glycosaminoglycanes, de protéoglycanes et de protéines multi-adhérentes (fibronectine ou laminine). Les matrices extracellulaires peuvent être rigidifiées notamment par une imprégnation de lignine ou de substances minérales.	
Précisions et limites : *On limite les matrices extracellulaires animales au cas des Mammifères et les matrices extracellulaires végétales à la paroi pectocellulosique (primaire et secondaire) des Angiospermes. Pour les processus de synthèse des constituants des matrices extracellulaires, on se limite à la cellulose de la paroi végétale.* *Les représentations attendues permettent de montrer l'organisation fonctionnelle.* *Pour les raisonnements, les formules de la cellulose, des pectines et des GAG sont fournies aux étudiants.*	
Certaines cellules d'un organisme pluricellulaire eucaryote interagissent (échanges de matière et d'information) avec d'autres organismes.	- Identifier les partenaires d'une association interspécifique impliquant des microorganismes par observation microscopique (microbiote intestinal, nodosité).
Précisions et limites : *On se limite à l'exemple du contact entre* E. coli *et l'épithélium intestinal et au cas des microorganismes de la rhizosphère (Rhizobium).*	
Liens : Vue d'ensemble sur un organisme animal et végétal et sur les organismes unicellulaires (SV-A) Diversité des tissus animaux et végétaux (SV-B et SV-F) Organisation du cytosquelette (SV-C-2) Modalités de la communication intercellulaire (SV-G-2) Les sols (BG-B) Biotechnologies : structure des protéines (1.1.1) ; les biomolécules, des substrats d'intérêt (2.1) ; Interactions protéine-ligand (1.3.1)	
SV-C-2 Organisation fonctionnelle de la cellule	
La cellule eucaryote est compartimentée, ce qui entraîne une régionalisation des fonctions et une coopération des compartiments dans le fonctionnement cellulaire. Le support de l'information génétique est présent dans plusieurs compartiments cellulaires.	- Discuter des intérêts et contraintes de la compartimentation dans le fonctionnement cellulaire. - Illustrer la diversité structurale et fonctionnelle des compartiments sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique. - Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (membranes, organites...). - À l'aide de différentes techniques microscopiques, reconnaître les ultrastructures cellulaires eucaryotes : noyau, membranes, mitochondrie, chloroplaste, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, lysosome, vésicules de sécrétion, eu/hétérochromatine, nucléole. - Réaliser des colorations afin de mettre en évidence différentes structures cellulaires au microscope optique.
La cellule bactérienne contient un chromosome unique circulaire et éventuellement des plasmides. Elle est délimitée par une ou deux membranes et une paroi de peptidoglycanes. Son cytoplasme est souvent peu compartimenté.	- Schématiser l'ultrastructure d'une bactérie. - Comparer l'organisation eucaryote et procaryote - À l'aide de techniques de microscopie, reconnaître les principales caractéristiques ultrastructurales d'une bactérie.
Précisions et limites : *Les colorations usuelles réalisées en TB sont : coloration carmino-vert de mirande, rouge neutre, bleu coton lactique, vert de méthyle, pyronine, lugol. Le principe de la coloration est connu mais le protocole n'est pas à mémoriser. Pour les peptidoglycanes, le détail des monomères est hors programme.*	

Pour comparer l'organisation eucaryote et bactérienne, les acquis de Biotechnologies sont remobilisés.	
Les cellules possèdent un squelette interne dynamique : le cytosquelette. Chez les cellules eucaryotes, il est constitué de trois catégories de structures protéiques fibrillaires : les microfilaments d'actine, les microtubules de tubuline et les filaments intermédiaires. Le cytosquelette des bactéries présente des protéines homologues à celui des cellules eucaryotes.	- Relier la structure du cytosquelette à ses propriétés mécaniques. - Illustrer les rôles du cytosquelette sur l'exemple de l'entérocyte et de la cellule du parenchyme palissadique (par exemple : association aux jonctions, structuration de l'enveloppe nucléaire, structuration des microvillosités, flux vésiculaires, cyclose des chloroplastes).
Précisions et limites : *Seul le cytosquelette d'une cellule eucaryote est présenté avec le détail des structures moléculaires.*	
Liens : Organisation des jonctions intercellulaires (SV-C-1) Flux vésiculaires (SV-C-3) Divisions cellulaires (SV-D-1-2) Cytosquelette et croissance du tube pollinique (SV-E-1) Organisation fonctionnelle du cytosquelette du spermatozoïde (SV-E-3) Migration cellulaire au cours du développement animal (SV-F) Organisation fonctionnelle d'un neurone (SV-G-2)	
Les cellules sont traversées par des flux de matière, d'énergie et d'information. Chez les Eucaryotes, une partie de ces flux transite par la membrane plasmique ou les systèmes endomembranaires. Ceci met en évidence la coopération fonctionnelle entre les compartiments.	- Argumenter l'existence de trois types de flux à l'aide des exemples de l'entérocyte, de la cellule du parenchyme palissadique et de *E. coli*. - Illustrer la coopération fonctionnelle entre les compartiments.
Précisions et limites : *On mentionne les différents flux, les modalités précises sont développées dans la partie SV-C-3.*	
SV-C-3 Membranes et échanges membranaires	
Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides, parfois glycosylés, assemblés en bicouches. Les lipides membranaires sont des lipides amphiphiles (phospholipide, glycolipide, cholestérol). Les protéines membranaires peuvent être transmembranaires ou associées à la surface. Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité reposent sur l'organisation de la membrane.	- Argumenter le modèle de mosaïque fluide à l'aide de résultats expérimentaux. - Décrire la structure et reconnaître les groupements hydrophobes et hydrophiles d'un phospholipide, d'un glycolipide et du cholestérol. - Interpréter un profil d'hydropathie de protéines membranaires. - Relier la fluidité membranaire à la composition de la membrane.
Précisions et limites : *Les représentations attendues permettent de montrer l'organisation fonctionnelle. Pour les raisonnements, un formulaire regroupant les formules des principaux constituants (acide gras saturé, acide gras insaturé, glycérol, choline, sérine, éthanolamine, cholestérol) est fourni aux étudiants.* *Les techniques d'étude des protéines sont remobilisées à partir des acquis de Biotechnologies.*	
L'eau, les solutés neutres ou chargés et les gaz dissous peuvent traverser les membranes. La perméabilité de la membrane vis-à-vis d'une substance chimique dépend de ses propriétés physico-chimiques et de celles de la substance considérée. Ces échanges transmembranaires sont régis par les différences de potentiel électro-chimique. Les flux de solutés s'effectuent dans le sens des potentiels électro-chimiques décroissants par transport	- Relier la perméabilité membranaire à la composition de la membrane. - Exploiter la notion de potentiel électrochimique pour déterminer le caractère spontané ou non d'un échange. - Exploiter la relation de Nernst pour déterminer le potentiel d'équilibre d'un ion. - Exploiter la loi de Fick pour expliquer les caractéristiques cinétiques de certains échanges transmembranaires.

passif simple ou facilité ou dans le sens inverse par transport actif primaire ou secondaire (couplages énergétiques). Les flux transmembranaires sont une fonction linéaire (diffusion simple) ou une fonction présentant un plateau de saturation (échange assisté par un transporteur) de la concentration en molécule transportée. Des flux transmembranaires d'ions sont à l'origine d'un potentiel électrique appelé potentiel de membrane.	- Exploiter la notion de potentiel hydrique pour déterminer le sens des flux d'eau. - Relier les caractéristiques des protéines membranaires (canal, transporteur) aux modalités d'échange. - Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques. - Relier l'inégale répartition des ions et les flux transmembranaires à l'existence d'un potentiel de membrane.
Précisions et limites : *Les échanges sont étudiés sur l'exemple de l'entérocyte (exemples préconisés : transporteur GLUT, Na^+/K^+ ATPase, symport Na^+/glucose de type SGLT, aquaporine). L'existence de protéines membranaires chez une cellule bactérienne est mentionnée. Pour les cellules végétales, on s'appuie sur des échanges transmembranaires impliqués dans l'absorption racinaire (SV-B-2-1).* *Le potentiel de membrane est étudié à partir d'une cellule non excitable, les cellules excitables sont abordées dans la partie communication (SV-G-2).*	
Des transferts de matière entre les compartiments et avec le milieu extracellulaire (endocytose et exocytose) sont réalisés par l'intermédiaire de vésicules. Le bourgeonnement et la fusion des vésicules reposent sur les propriétés des membranes et l'implication des protéines. Le transport et le guidage des vésicules mettent en jeu le cytosquelette.	- Relier les échanges présentés à leurs fonctions biologiques.
Liens : Echanges membranaires et nutrition des Angiospermes (SV-B-2) Auxine et développement de l'appareil végétatif des Angiospermes (SV-B-3-1) Intégration physiologique du métabolisme cellulaire (SV-C-4) Communications intercellulaires (SV-G-2) Biotechnologies : biochimie des protéines (1.1) ; les lipides (2.1.2) ; interaction protéine-ligand (1.3.1)	
SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire (TB2)	
L'approvisionnement des cellules en matière organique se fait, soit par prélèvement dans leur environnement (hétérotrophie), soit par prélèvement de matière minérale suivie de sa réduction (autotrophie). Le prélèvement de matière implique des échanges transmembranaires que ce soit au niveau des cellules constituant les surfaces d'échange avec le milieu extérieur ou au niveau des cellules consommatrices. Au sein d'un organisme pluricellulaire, un fluide circulant assure généralement le transport des molécules entre les différentes cellules. Dans les cellules, aussi bien autotrophes qu'hétérotrophes, la matière organique a trois devenirs : elle peut (1) être stockée transitoirement ou à long terme pour constituer des réserves (glucidiques ou lipidiques) ou être exportée, (2) servir à la biosynthèse de nouvelles molécules organiques (anabolisme), ou (3) entrer dans différentes voies cataboliques desquelles la cellule tire son énergie.	- Réaliser une étude expérimentale de l'intégration physiologique du métabolisme (sur un modèle au choix). - Argumenter l'approvisionnement des cellules autotrophes au carbone, en H_2O et en CO_2. - Argumenter l'approvisionnement des cellules hétérotrophes au carbone en matière organique.

Précisions et limites *:* *En ce qui concerne l'approvisionnement en matière minérale ou organique, aucune connaissance supplémentaire en dehors de celles abordées dans le cours sur les échanges transmembranaires, sur l'organisme végétal angiosperme et sur l'organisme animal n'est exigible.* *Les différents devenirs de la matière organique dans une cellule sont illustrés dans les blocs suivants chez une cellule animale (la cellule musculaire striée squelettique) et une cellule autotrophe d'Angiosperme, aucun autre exemple n'est exigible.*	
La cellule musculaire striée squelettique est capable d'utiliser ses réserves de glycogène ou du glucose sanguin pour synthétiser l'ATP dont elle a besoin. L'ATP est utilisée par la myosine pour le couplage chimio-mécanique à l'origine de la contraction musculaire. Le glucose absorbé par la cellule musculaire peut être stocké sous forme de glycogène dans le cytosol. Il s'agit d'une voie anabolique. Le catabolisme du glycogène produit du glucose-1-phosphate et fait intervenir une enzyme allostérique, la glycogène phosphorylase. L'ATP et l'AMP sont des effecteurs allostériques de la glycogène phosphorylase. Le stockage ou le déstockage des réserves glucidiques dépend donc de voies métaboliques antagonistes. Le catabolisme du glucose peut se réaliser via deux grandes voies, la voie fermentaire lactique et la voie oxydative. Au cours d'un exercice musculaire, les différentes réserves énergétiques de la cellule musculaire sont utilisées séquentiellement. Les voies anaérobies alactiques de régénération de l'ATP par la myokinase ou la créatine kinase sont les premières à être mobilisées, avant la voie fermentaire lactique et la voie oxydative.	- Réaliser des colorations de tissus afin d'identifier différentes réserves cellulaires au microscope optique. - Relier les propriétés structurales des molécules énergétiques à leur rôle dans la mise en réserve ou la circulation. - Argumenter le comportement allostérique de la glycogène phosphorylase sur la base de sa courbe Vi = f($[S]_0$) - Expliquer l'intérêt physiologique du contrôle allostérique de la glycogène phosphorylase par la balance ATP/AMP. - Représenter les flux glucidiques au sein d'une cellule musculaire. - Localiser les différentes voies métaboliques au sein de la cellule musculaire. - Comparer le rendement de la voie fermentaire lactique et de la voie oxydative du catabolisme du glucose. - Relier l'activité de la cellule musculaire aux voies cataboliques utilisées. - Décrire le retour aux conditions initiales (de repos) après un exercice musculaire en lien avec la dette en O_2.
Précisions et limites : *On s'appuie sur le métabolisme microbien vu en Biotechnologies, l'accent est mis sur l'intégration du métabolisme eucaryote à l'échelle cellulaire et physiologique. Les différentes voies métaboliques ne sont pas détaillées à nouveau en SVT, seuls les bilans vus en Biotechnologies sont utilisés.* *Le détail de la contraction musculaire n'est pas étudié (troponine-tropomyosine, couplage excitation-contraction sont hors-programme). On mentionne le couplage chimio-mécanique sans le détailler.* *Aucun mécanisme enzymatique lié au stockage ou au déstockage des réserves glucidiques à l'exception de la glycogène phosphorylase n'est attendu. On se limite à citer leur existence, leur nature et leur localisation.* *Les propriétés des protéines allostériques sont vues en Biotechnologies, seule leur importance dans le contrôle des voies métaboliques est ici abordée. Le nombre de Hill n'est pas au programme. Le détail des mécanismes enzymatiques contrôlant la phosphorylation de la glycogène phosphorylase n'est pas exigible.* *Les connaissances de première année sur la mitochondrie sont remobilisées au service de la compréhension des relations structure-fonction au sein de l'organite.*	
La cellule chlorophyllienne fonctionne selon plusieurs modes : (1) L'énergie lumineuse est utilisée pour produire de la matière organique. Dans le chloroplaste, au cours du cycle de Calvin, le CO_2 est réduit en matière organique glucidique (trioses phosphates) grâce aux produits de la phase photochimique (ATP et pouvoir réducteur).	- Distinguer les types trophiques des cellules d'un organisme végétal. - Localiser les différentes voies métaboliques au sein de la cellule végétale chlorophyllienne.

Le jour, ces glucides sont soit exportés vers le cytosol, transformés en saccharose chez les Angiospermes ou catabolisés pour la synthèse d'ATP, soit stockés transitoirement sous forme d'amidon au sein du chloroplaste. La photosynthèse est également impliquée dans les voies de biosynthèse d'autres molécules organiques et est à la base de l'autotrophie. (2) L'amidon sera déstocké massivement la nuit sous forme de glucose, utilisé par les voies cataboliques de la cellule elle-même, ou exporté sous forme de saccharose dans le reste de la plante. Des réserves énergétiques à plus long terme peuvent être constituées sous forme d'amidon dans les amyloplastes des organes de réserve ou sous forme de triglycérides dans des gouttelettes lipidiques cytoplasmiques de cellules de différents tissus (graines oléagineuses des Angiospermes). Le stockage et déstockage de ces réserves en fonction des conditions saisonnières mobilise les mêmes voies métaboliques.	- Représenter les flux glucidiques au sein d'une cellule végétale chlorophyllienne (en fonction des conditions lumineuses). - Relier les propriétés structurales des molécules énergétiques à leur rôle dans la mise en réserve ou la circulation - Mettre en évidence les réserves amylacées et lipidiques ainsi que leur localisation dans des organes de réserve végétatifs ou graines/fruits secs.
Précisions et limites : *Les différentes voies métaboliques vues en Biotechnologies ne sont pas redétaillées, seuls les bilans sont utilisés. On s'appuie sur le métabolisme microbien vu en Biotechnologies, l'accent est mis sur l'intégration du métabolisme eucaryote à l'échelle cellulaire et physiologique.* *Les connaissances de première année sur le chloroplaste sont remobilisées au service de la compréhension des relations structure-fonction au sein de l'organite.* *Aucun mécanisme enzymatique lié au stockage ou au déstockage des réserves glucidiques ou lipidiques n'est attendu. On se limite à citer leur existence, leur nature et leur localisation.*	
Liens : Approvisionnement en matière à l'échelle de l'organisme (SV-A-1 & SV-A-2) Nutrition d'un organisme végétal (SV-B-2) Échanges transmembranaires (SV-C-3) Expression génétique, traduction, adressage (SV-D-2) La cellule musculaire (SV-F-2) La circulation sanguine (SV-G-1) Membrane et réception de messagers chimiques (SV-G-2) Biotechnologies : Les biomolécules, des substrats d'intérêt (2.1) ; Les enzymes, des biomolécules présentant une activité catalytique (2.2) ; allostérie (2.2.5)	

SV-D Génomique structurale et fonctionnelle (TB 1 et TB 2)

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

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique (TB 1)	
SV-D-1-1 Organisation des génomes	
L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent, constitue son génome. L'étude des génomes passe par une panoplie de techniques dites de biologie moléculaire. Les techniques de séquençage permettent de déterminer la séquence d'un fragment d'ADN puis de proche en proche la séquence des génomes. L'utilisation d'outils bioinformatiques permet d'identifier les différents types de séquences codantes et non codantes.	- Analyser et exploiter les résultats d'une électrophorèse d'ADN. - Interpréter l'organisation des génomes à partir des résultats de séquençage. - Exploiter les données de séquençage pour réaliser des alignements de séquences et comparer les séquences.
Précisions et limites : *Les principes généraux et les objectifs des différentes techniques évoquées sont à connaître mais les protocoles ne sont pas à mémoriser. Les acquis de Biotechnologies sur le séquençage sont remobilisés.* *Pour le séquençage, on se limite à l'exploitation des résultats.* *La maîtrise d'un logiciel d'alignement de séquences n'est pas exigible (la fiche technique du logiciel est fournie).*	
Chez les Eucaryotes, on distingue le génome nucléaire et le génome des organites. Le génome nucléaire est constitué de chromosomes linéaires. L'ADN nucléaire des Eucaryotes est associé à des protéines dont des histones, constituant la chromatine. Il existe différents niveaux de condensation de la chromatine. Le génome nucléaire des Eucaryotes comporte une part importante de séquences non codantes aux rôles divers. La majorité de ces séquences est répétée. Les gènes eucaryotes sont généralement morcelés. Chez les bactéries, le génome à localisation cytoplasmique est constitué d'un chromosome circulaire et éventuellement de plasmides. Le génome des bactéries est constitué presque exclusivement de	- Estimer la proportion de séquences codantes et non codantes dans les génomes des Eucaryotes. - Comparer l'organisation des génomes eucaryotes avec les génomes des bactéries.

régions codantes. Certaines sont associées à des régions régulatrices communes qui forment des opérons.	
Précisions et limites : *Pour les génomes bactériens, on se limite à mentionner la présence de protéines structurales associées à l'ADN, sans détailler l'organisation moléculaire des chromosomes.* *La connaissance des génomes est remobilisée dans l'étude de l'évolution.*	
Liens : Biotechnologies : séquençages (4.4) ; techniques de séparation de molécules par électrophorèse (5.2)	
SV-D-1-2 La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires chez les Eucaryotes	
Chez les Eucaryotes, le matériel génétique est dupliqué au cours de la phase S interphasique qui précède toute division cellulaire. La réplication semi-conservative de l'ADN est assurée par des ADN polymérases. C'est un processus avec un faible taux d'erreur qui assure la conservation globale de l'information génétique.	- Expliquer le principe de polymérisation des nucléotides par l'ADN polymérase.
Précisions et limites : *La diversité des ADN polymérases n'est pas attendue. Aucun détail sur la fourche de réplication n'est au programme.* *Aucune protéine du système de réplication autre que l'ADN polymérase n'est à présenter.* *Les mécanismes de correction des erreurs et de réparation de l'ADN ne sont pas au programme. En revanche, l'ordre de grandeur du taux d'erreur de la réplication est indiqué.*	
Le cycle cellulaire des cellules eucaryotes comprend une interphase et une mitose. Le matériel génétique est dupliqué pendant la phase S (réplication). Le matériel génétique est réparti équitablement entre les 2 cellules filles au cours de la phase M (mitose). Le cycle cellulaire est contrôlé. Le passage d'une étape à une autre est sous le contrôle de signaux extracellulaires et de facteurs internes notamment liés à l'intégrité de l'information génétique.	- Estimer l'ordre de grandeur de la durée des différentes phases d'un cycle cellulaire à partir de résultats expérimentaux. - Interpréter des résultats mettant en évidence un contrôle du cycle cellulaire.
Précisions et limites : *Aucun mécanisme moléculaire n'est attendu : on signale seulement l'existence de points de contrôle dont le franchissement autorise la poursuite du cycle, sans aucun détail.*	
Les chromosomes répliqués, à 2 chromatides, se condensent progressivement au cours des prophases de mitose et de méiose I.	- Représenter la structure d'un chromosome métaphasique (centromère, télomère, kinétochore).
Précisions et limites : *Aucun détail moléculaire n'est attendu.*	
Le processus mitotique assure une égale répartition des chromosomes entre les deux cellules-filles grâce à l'intervention de protéines (notamment du cytosquelette). La cytocinèse permet la séparation des deux cellules-filles.	- Expliquer comment le processus mitotique, et en particulier le fonctionnement du fuseau achromatique, permet l'égale répartition des chromosomes, donc de l'information génétique. - Illustrer le processus de cytocinèse chez les Métazoaires et les Embryophytes.

	- À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la mitose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.
Précisions et limites : *On considère uniquement la mitose de cellules pour lesquelles la division cellulaire suit la division nucléaire. On se limite aux mécanismes de base et à l'existence du fuseau achromatique. Des molécules comme les cohésines et les séparases par exemple ne sont pas exigibles.*	
La méiose est une série de deux divisions successives précédée par une interphase. Elle permet de passer d'une phase diploïde à une phase haploïde. C'est une des étapes de la formation des gamètes et des méiospores chez les organismes à reproduction sexuée.	- Expliquer comment le processus méiotique permet d'aboutir à 4 cellules-filles haploïdes à partir d'une cellule-mère diploïde. - Représenter schématiquement les caractéristiques cytologiques et chromosomiques de la méiose. - À l'aide de différentes techniques microscopiques, repérer les différentes phases de la méiose, l'organisation des chromosomes et du fuseau de division.
Liens : Organisation de la cellule bactérienne et eucaryote (SV-C-2) Brassages génétiques en méiose (SV-D-4) Formation des gamètes, des méiospores et des gamétophytes (SV-E) Diversité génétique comme base de diversité du vivant (SV-I) Biotechnologies : structure des acides nucléiques (4.1.1) ; les techniques de séquençage de l'ADN (4.4.1) ; amplification *in vitro* des séquences nucléotidiques (4.3)	
SV-D-2 L'expression du génome (TB 1)	
La transcription de l'ADN en ARN est assurée par des ARN polymérases. Elle se déroule en trois étapes (initiation, élongation, terminaison) et génère plusieurs types d'ARN : ARNm, ARNt, ARNr et petits ARN. La transcription est initiée au niveau d'un promoteur reconnu par un complexe d'initiation et modulée positivement ou négativement par des facteurs de transcription.	- Expliquer le principe de polymérisation d'un ARN par l'ARN polymérase.
Un gène est une unité de transcription avec ses séquences régulatrices, c'est-à-dire une séquence d'ADN nécessaire à la synthèse d'un ARN. Il peut posséder ou non une phase de lecture ouverte permettant la synthèse d'un polypeptide.	- Représenter schématiquement la structure d'un gène eucaryote avec l'ensemble de ses caractéristiques. - Discuter le concept de gène.
Précisions et limites : *Le processus de transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN messagers chez les Eucaryotes.* *La nomenclature de tous les facteurs protéiques impliqués dans le complexe d'initiation ainsi que l'organisation détaillée du promoteur ne sont pas à mémoriser.* *On mentionne l'existence de signaux indiquant la fin de la transcription chez les Eucaryotes.* *On limite la présentation des petits ARN aux ARNi.*	
Chez les Eucaryotes, les ARN messagers subissent une maturation (excision-épissage s'ils sont morcelés, ajout d'une coiffe en 5', polyadénylation en 3') dans le noyau avant d'être exportés vers le cytosol.	- Expliquer l'importance des processus co- et post-transcriptionnels dans la diversification et le contrôle de la demi-vie des transcrits.

Des mécanismes comme l'épissage alternatif, produisent des ARNm différents pour une même unité de transcription. L'ensemble des ARN transcrits et maturés constitue le transcriptome cellulaire.	
Précisions et limites : *Le détail des mécanismes moléculaires des phénomènes de maturation et d'exportation hors du noyau n'est pas exigible. On ne traite pas de l'édition ou de la polyadénylation alternative.*	
Dans le cytosol, les ARNm matures sont traduits en polypeptides. La traduction repose sur la coopération fonctionnelle entre différentes classes d'ARN au sein des ribosomes. Elle comprend une phase d'initiation, d'élongation et de terminaison. La correspondance entre un codon et un acide aminé est assurée par les ARNt suivant le code génétique. Les amino-acyl ARNt synthétases assurent la fidélité de la correspondance acide aminé/codon sur l'ARNt. La transpeptidation est catalysée par un ARNr (ribozyme) de la grande sous-unité du ribosome. La machinerie de traduction assure la conversion de l'information codée dans la séquence nucléotidique en séquence d'acides aminés.	- Expliquer l'importance des interactions entre ARN au cours des différentes étapes de la traduction - Relier la structure des différents ARN à leurs rôles dans l'expression de l'information génétique.
Précisions et limites : *Les expériences ayant conduit à l'élucidation du code génétique et la terminologie des facteurs protéiques intervenant dans la traduction peuvent être étudiées mais ne sont pas à mémoriser.*	
Chez les Eucaryotes, la traduction est réalisée dans le cytosol et dans les organites semi-autonomes. La protéine synthétisée ou en cours de synthèse peut être adressée à un compartiment particulier grâce à une séquence signal et une machinerie d'adressage en interaction avec le système de traduction.	- Relier le phénomène d'adressage à la spécialisation des compartiments.
Précisions et limites : *On se limite au mécanisme simplifié de translocation co-traductionnelle dans le réticulum endoplasmique.*	
L'acquisition de la structure tridimensionnelle d'une protéine (repliement) peut être assistée par des protéines chaperonnes. Une protéine peut subir des modifications post-traductionnelles.	
Précisions et limites : *Pour les modifications post-traductionnelles, on se limite aux exemples de clivage, glycosylation et phosphorylation. Les techniques d'étude des protéines sont remobilisées à partir de ce qui est vu en Biotechnologie.*	
Liens : Compartimentation des cellules spécialisées (SV-C-2) Flux de matière et d'information dans une cellule eucaryote (SV-C-2) Biotechnologies : structure des protéines (1.2.1) ; structure des acides nucléiques (4.1.1)	

SV-D-3 Le contrôle de l'expression du génome (TB 1)	
Des modifications de l'environnement cellulaire ou des signaux internes à la cellule influencent l'expression du génome. Ces diverses influences conduisent à des phénotypes variés. Chez les Eucaryotes, l'ensemble des contrôles transcriptionnels, post-transcriptionnels et post-traductionnels expliquent la diversité des transcriptomes et des protéomes. La diversité des ARN et protéines produits à un instant donné est à l'origine du phénotype des cellules et des organismes. Des modifications expérimentales par mutagenèse aléatoire ou ciblée ou transgenèse permettent d'étudier les liens entre génotype et phénotype. Les transcriptomes et protéomes peuvent être étudiés à l'aide de sondes nucléotidiques et d'anticorps spécifiques respectivement.	- Analyser et Interpréter des résultats expérimentaux issus des principales méthodes d'étude du transcriptome et du protéome, le principe de la méthode étant fourni. - Analyser des résultats issus d'expériences utilisant des organismes génétiquement modifiés - Analyser et interpréter des résultats expérimentaux utilisant les techniques de Southern blot, northern blot, western blot, hybridation *in-situ* ou de puce à ADN. - Identifier et justifier les témoins de charge des blots.
Précisions et limites : *Le principe des différentes techniques expérimentales évoquées est à connaître. La mise en œuvre pratique n'est pas exigible en SVT mais est réalisée et approfondie en biotechnologies.* *Concernant les puces à ADN, seule une analyse qualitative est requise, aucune méthode d'analyse informatique n'est exigible.*	
Le contrôle de l'initiation de la transcription est la principale voie de contrôle de l'expression génétique. Le contrôle de la transcription repose sur des interactions entre des séquences régulatrices et des facteurs de transcription ou de remodelage de la chromatine. Les facteurs de transcription interagissent spécifiquement avec des séquences d'ADN et des protéines. Le niveau de transcription est influencé par l'état de méthylation des bases de l'ADN et les modifications de la chromatine. La probabilité d'initiation de la transcription dépend de la combinaison de tous les acteurs précités. Les modifications de la chromatine constituent une information transmissible et sont à la base du contrôle épigénétique. Ces modifications transmissibles constituent l'épigénome.	- Relier le contrôle de l'expression génétique à la différenciation et la spécialisation cellulaire. - Illustrer, à partir de l'exemple du gène *FLC*, le lien entre conditions climatiques, état de condensation de la chromatine et expression génétique.
Précisions et limites : *Le contrôle de la transcription est étudié à partir de l'exemple de la polymérisation des ARN messagers chez les Eucaryotes. Concernant les facteurs de transcription, on se limite au motif bHLH en lien avec les facteurs myogéniques, réinvesti en TB 2. Le contrôle épigénétique est abordé uniquement à partir de l'exemple du contrôle de l'expression du gène FLC chez* A. thaliana *qui sera repris en TB 2.*	
L'interférence ARN est un mécanisme de contrôle post-transcriptionnel majeur.	

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

Liens :
Contrôle de l'expression des gènes dans la floraison (SV-B-3-2)
Contrôle de l'expression des gènes au cours du développement embryonnaire (SV-F-2)
Changements climatiques et leurs conséquences sur la biodiversité (BG-C-3)
Biotechnologies : clonage d'une séquence nucléotidique (4.5.1) ; interactions entre molécules, notion d'affinité et de spécificité (1.3)

SV-D-4 La diversification des génomes (TB 1)

SV-D-4-1 Diversité des mutations et diversification des génomes

La séquence des génomes est modifiée de manière aléatoire : - par des erreurs de réplication non réparées - par des lésions de l'ADN non réparées dont la fréquence est augmentée par des agents mutagènes. Certaines mutations modifient la structure des chromosomes (délétions, inversions, duplication, translocation) ou affectent leur nombre (polyploïdie, aneuploïdie). Les mutations géniques et chromosomiques sont source de nouveaux gènes et allèles.	- Relier les mutations de la séquence nucléotidique à leurs conséquences phénotypiques. - Analyser un caryotype et repérer les anomalies chromosomiques.

Précisions et limites :
Un seul exemple de lésion de l'ADN est traité (désamination, dépurination ou dimères de thymine).
Les mécanismes de réparation sont hors-programme.

SV-D-4-2 Brassage génétique et diversification des génomes

La sexualité modifie les génomes en brassant les allèles. Chez les Eucaryotes, la méiose contribue à la diversification des génomes. En unissant des génomes haploïdes, la fécondation crée de nouvelles combinaisons alléliques diploïdes. Les mécanismes favorisant l'allogamie augmentent la diversité des combinaisons alléliques.	- Relier les principaux évènements cytogénétiques de la méiose avec leurs conséquences sur le brassage allélique. - Argumenter les processus de brassage génétique en s'appuyant sur le principe de quelques croisements simples mais différant par deux couples d'allèles pris chez les organismes diploïdes. - Comparer les conséquences génétiques de l'autogamie et de l'allogamie. - À partir de l'étude de différents croisements (lien partie « Reproduction ») : • identifier les caractères indépendants ou liés des gènes ; • déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles ; • montrer la diversité génétique créée ; • illustrer des pratiques de sélection agronomique sur un exemple.

Précisions et limites :
Ni la nomenclature des différentes étapes de la prophase I de méiose ni les mécanismes moléculaires de la recombinaison homologue de la méiose ne sont au programme.
Pour illustrer l'allogamie, un exemple de séparation des sexes dans l'espace et un exemple d'auto-incompatibilité gamétophytique sont traités. Les calculs de distance génétique sont hors programme.

Les hybridations interspécifiques sont une autre source de diversification des génomes. Chez les Bactéries (et dans une moindre mesure chez les Eucaryotes), des modifications du génome sont possibles par transferts horizontaux de matériel génétique.	

Précisions et limites :
On se limite à une seule modalité de transfert horizontal de gènes chez les bactéries, sans aucun détail moléculaire. Les transferts horizontaux de gènes (de type transformation) utilisés en génie génétique sont traités en biotechnologies.

Liens :
Diversification des génomes et sélection de Bovidé ou Fabacée (SV-A-1 et 2)
Transmission de l'information génétique (SV-D-1-2)
Modalités de la reproduction sexuée (SV-E-1 et SV-E-3)
Transmission des allèles dans les populations (SV-I-1)
Vision évolutive de la biodiversité, apports des transferts horizontaux (SV-I-1)
Biotechnologies : structure des acides nucléiques (4.1.1) ; le monde microbien : unité et diversité (3.1)

SV-E Reproduction (TB 1)

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

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-E-1 La reproduction sexuée chez les Angiospermes	
Chez les Angiospermes, la méiose produit des méiospores, qui ne sont pas disséminées. Elles réalisent mitoses et différenciation au sein des pièces fertiles de la fleur qui constitue l'appareil reproducteur.	- Mettre en relation les différentes pièces florales et leur rôle dans la reproduction. - Réaliser une dissection florale et établir le diagramme floral et la formule florale correspondants. - En classe et sur le terrain, utiliser une flore et/ou un outil numérique de détermination pour identifier le genre d'une fleur. - Sélectionner la flore la plus appropriée pour répondre au problème posé. - Réaliser et/ou interpréter des coupes d'anthères à différents stades, ainsi que des coupes d'ovaires et d'ovules. - À l'aide de techniques de microscopie optique et électronique : • analyser l'organisation des grains de pollen et des sacs embryonnaires ; • identifier le degré de maturité des structures reproductrices (anthères).

Précisions et limites :
La description des modalités cellulaires et moléculaires des étapes qui conduisent d'une cellule mère des spores au grain de pollen ou au sac embryonnaire ne sont pas au programme. Cependant l'existence de mitoses de la méiospore haploïde permet de définir le concept de génération gamétophytique et de distinguer ainsi gamètes et gamétophyte. L'introduction de ce concept permet de distinguer le cycle à une seule génération des Métazoaires du cycle à plusieurs générations des végétaux.

La connaissance des différents types de placentation des ovaires et des différents types d'ovules n'est pas au programme. Les classifications phylogénétiques et les caractères associés ne sont pas à connaître.	
La fécondation interne siphonogame des Angiospermes, est précédée d'une pollinisation le plus souvent entomogame ou anémogame. La siphonogamie est assurée par une croissance apicale orientée du tube pollinique.	- Mettre en lien les deux principaux types de pollinisation (anémogame et entomogame) et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés. - Émettre des hypothèses sur le mode de pollinisation à l'aide des structures observées suite à une dissection florale et/ou un montage de grains de pollen. - À partir d'observations conjointes de fleurs et d'insectes, identifier des exemples de coadaptation. - Analyser des résultats expérimentaux mettant en évidence des coévolutions entre fleurs et insectes.
Précisions et limites : *Un seul exemple de fleur est à mémoriser pour chaque type de pollinisation (anémogame et entomogame).* *Les mécanismes généraux de la croissance apicale du tube pollinique sont présentés (turgescence, exocytose apicale, guidage, chimiotactisme) mais aucun détail moléculaire n'est à mémoriser.*	
La double fécondation, spécificité des Angiospermes, conduit à la transformation du sac embryonnaire en embryon principal et albumen, de l'ovule en graine et de la fleur en fruit. Le fruit constitue la principale synapomorphie des Angiospermes. La double fécondation est précédée d'une phase de tri des grains de pollen.	- Expliquer comment le système d'auto-incompatibilité réalise un tri des grains de pollen.
Précisions et limites : *Les étapes de la transformation de l'ovule en graine et de la fleur en fruit ne sont pas au programme. Les mécanismes moléculaires de l'auto-incompatibilité gamétophytique ne sont pas au programme.*	
Chez les Angiospermes, le nouvel individu est disséminé à l'aide de la graine et/ou du fruit. La dormance des graines est un mécanisme permettant de corréler le cycle de développement aux saisons.	- Comparer les propriétés d'un organe de dissémination (graine/fruit) à celles d'un organe de dispersion (grain de pollen). - Illustrer la diversité des modalités de dissémination à l'aide de quelques exemples de fruits. - À partir d'observation de fruits et de graines, en classe et sur le terrain : • dégager les grands traits de l'organisation de fruits et mettre en lien avec les fonctions de protection, et de dissémination des graines ; • distinguer un fruit d'une graine ; • distinguer : fruit charnu (baie et drupe), fruit sec déhiscent (gousse, follicule, silique) et fruit sec indéhiscent (caryopse et akène), au sein de fruits simples ou de fruits multiples.
Précisions et limites : *On se limite à la distinction graine albuminée-graine exalbuminée.* *L'identification des fruits se base sur une clef de détermination fournie.* *La diversité des modalités de dissémination est abordée à travers l'anémochorie, l'endozoochorie et l'épizoochorie, avec un seul exemple à mémoriser pour chaque modalité. Seul le mécanisme d'autoincompatibilité gamétophytique est présenté.* *Les mécanismes d'entrée et de levée de dormance ne sont pas au programme.*	
Liens : Distinction appareil végétatif-appareil floral reproducteur. Rythme saisonnier et étapes du cycle de reproduction (SV-A-2) Développement de l'appareil reproducteur des angiospermes (SV-B-3-2) Les cellules au sein d'un organisme (SV-C-1) Organisation fonctionnelle de la cellule (SV-C-2) Membranes et échanges membranaires (SV-C-3) Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4-2)	

Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème (SV-H-2-2)
Activités de terrain

SV-E-2 La reproduction asexuée chez les Angiospermes

La reproduction asexuée d'individus se réalise à partir d'un plant mère, sans intervention de méiose ni de fécondation. Dans des conditions favorables, la reproduction asexuée repose sur des divisions mitotiques et conduit à une multiplication importante d'individus. Ces individus conservent le même génome parental aux mutations près mais peuvent présenter une variabilité phénotypique. La capacité de néoformer ou de régénérer des organes repose sur les propriétés de l'appareil végétatif (ramification et dans certains cas, mise en réserve) et la plasticité des cellules végétales (capacité de dédifférenciation et totipotence). La reproduction asexuée contribue à la dissémination des Angiospermes. Ce mode de reproduction a des conséquences biologiques et écologiques au sein des populations.	- Illustrer différentes modalités naturelles de multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés (marcottage) ou par néoformation d'organes spécialisés (stolons, tubercules, bulbilles). - À partir d'observations d'échantillons complets, de dissections et de prélèvements judicieux : • déterminer la nature de l'organe de multiplication végétative ; • discuter de ses capacités de dissémination et de ses modalités de multiplication.

Précisions et limites :
La détermination raisonnée des organes de multiplication végétative et de leurs modalités de multiplication se limite aux cas suivants sans multiplier les exemples : marcottage naturel ; formation de stolons, tubercules, et bulbilles.

Liens :
Distribution des assimilats photosynthétiques au sein du végétal (SV-B-2-3)
Développement végétatif à l'interface sol/air (SV-B-3-1)
Transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires chez les Eucaryotes (SV-D-1-2)
Les populations et leur démographie (SV-H-1)

SV-E-3 La reproduction sexuée des Mammifères

La reproduction sexuée des Mammifères fait intervenir une seule génération comme chez tous les Métazoaires. Les gamètes sont produits au sein de gonades par méiose et différenciation (gamétogénèse). La production des spermatozoïdes est continue, alors que celle des ovocytes est cyclique. La reproduction sexuée implique une phase de rapprochement des gamètes. La fécondation s'accompagne d'un tri allélique qui influe sur les processus de diversification.	- Relier l'organisation des gamètes à leurs rôles complémentaires dans la fécondation. - À partir de l'observation de coupes histologiques et d'électronographies : • interpréter l'organisation des gonades en lien avec leurs fonctions ; • repérer les cellules reproductrices. - Mettre en relation les modalités de reproduction sexuée (fécondation, nombre de gamètes) avec les contraintes du milieu de vie (physiques et biologiques).

Précisions et limites :
La connaissance des étapes de la gamétogenèse se limite à ce qui est nécessaire pour interpréter des coupes histologiques.

La fécondation repose sur la reconnaissance intraspécifique entre la membrane plasmique du spermatozoïde et la zone pellucide ovocytaire. Cette étape mène à la réaction acrosomique, à la fusion des gamètes puis à l'amphimixie. Elle s'accompagne de processus limitant la polyspermie. La formation du zygote restaure le caryotype de l'espèce. Le zygote possède une combinaison allélique unique.	- Comparer les apports des deux gamètes à la formation du zygote. - Analyser quelques croisements chez les Mammifères pour identifier les caractères indépendants ou liés des gènes et déterminer les caractères récessif, dominant ou codominant des allèles. - Évaluer la diversité génétique créée après un croisement.

Les pratiques de sélection agronomique exploitent les données génomiques connues des espèces domestiquées.	

Précisions et limites :
Seul le processus de reconnaissance entre la zone pellucide et le spermatozoïde est détaillé au niveau moléculaire en lien avec le caractère intraspécifique de la fécondation.
La comparaison de la reproduction d'un Mammifère réalisant une parade nuptiale, à celle de la moule, est l'occasion de discuter des modalités de reproduction sexuée en milieu aérien et aquatique.
La sélection agronomique est illustrée à partir d'un seul exemple.

Liens :
Fonction de reproduction d'un Bovidé (SV-A-1)
Organisation fonctionnelle de la cellule (SV-C-2)
Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-D-4-2)

SV-F Le développement embryonnaire chez les Vertébrés (TB 2)

Les mécanismes du développement sont à l'origine de l'édification des organismes pluricellulaires. L'objectif de cette partie est d'étudier la mise en place de l'organisation fonctionnelle des Vertébrés à partir de l'analyse du développement embryonnaire de quelques espèces modèles privilégiées. Une insistance particulière est portée sur les mécanismes à l'échelle cellulaire afin de réinvestir des processus étudiés dans d'autres parties du programme.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-F-1 Les étapes du développement embryonnaire chez les Vertébrés	
Le développement embryonnaire animal débute à la fécondation et s'achève lors de l'éclosion ou de la naissance. Plusieurs étapes successives conduisent à la formation d'un organisme présentant les caractéristiques morphologiques et anatomiques de son espèce : • segmentation • gastrulation • neurulation • organogenèse. Ces différentes étapes mettent en jeu des processus cellulaires tels que la prolifération (mitose), les changements de forme et la mobilité de cellules ou d'ensemble de cellules, la différenciation et la mort cellulaire programmée. Des dispositifs moléculaires dynamiques sont le support des mécanismes cellulaires : matrice extracellulaire, molécules d'adhérence, cytosquelette, protéines de signalisation et facteurs de transcription. Trois feuillets cellulaires primordiaux (ectoderme, mésoderme, endoderme) sont mis en place au cours de la gastrulation. Ces feuillets génèrent tous les tissus somatiques de l'organisme. La différenciation des cellules est précédée de leur détermination.	- Identifier sur des embryons *in toto* et des coupes, les différents stades de développement embryonnaire. - Établir la correspondance entre les différentes étapes du développement embryonnaire et la mise en place des caractéristiques morpho-anatomiques : état pluricellulaire, symétrie, axes de polarités, territorialisation des organes et des appareils etc. - Exploiter des données de marquage pour • définir le concept de lignage cellulaire ; • caractériser les mouvements cellulaires au cours de la gastrulation. - Exploiter des résultats expérimentaux pour : • illustrer l'importance des déterminants maternels dans les étapes précoces du développement embryonnaire (cas de la rotation corticale et de l'acquisition de la polarité dorso-ventrale) ; • argumenter les rôles du cytosquelette et de la matrice extracellulaire dans différents processus cellulaires du développement ; • discuter de la détermination des cellules à différents stades du développement embryonnaire.

Précisions et limites :
L'analyse des différentes étapes du développement embryonnaire est conduite à partir du modèle amphibien.
Le concept d'induction n'est pas exigible. Concernant les déterminants maternels, on se limite à l'exemple du rôle dorsalisant de la β-caténine (facteur de transcription). L'existence de protéines de signalisation est mentionnée, sans exemple exigible.

SV-F-2 Différenciation d'un type cellulaire : la cellule musculaire striée squelettique	
Le membre chiridien est constitué de nombreux tissus qui assurent en particulier le soutien et la mobilité de l'organisme. Les cellules musculaires (ou myocytes) striées squelettiques forment des muscles insérés sur les os par des tendons, innervés par des motoneurones et irrigués par le système sanguin. La cellule musculaire est plurinucléée et organisée par des myofibrilles formées par la répétition de sarcomères qui sont les unités contractiles. Un couplage chimio-mécanique entre les filaments d'actine et de myosine assure la contraction. Cette dernière est dépendante d'un flux calcique déclenché par un potentiel d'action. Les cellules musculaires striées squelettiques des membres sont issues de la différenciation de cellules souches provenant des somites et donnant naissance à des précurseurs (les myoblastes). La différenciation cellulaire est un processus séquentiel ; elle implique l'arrêt de la prolifération cellulaire. La maturation terminale est dépendante de leur innervation par des motoneurones. La détermination puis la différenciation des cellules musculaires reposent sur l'expression séquentielle de facteurs de transcription spécifiques contrôlée par des rétroactions entre les facteurs de transcription et des signaux paracrines.	- Réaliser une préparation microscopique de muscle strié squelettique coloré ou non. - Identifier des cellules musculaires striées squelettiques en microscopies optique et électronique. - Illustrer la notion de cellule différenciée à l'aide de l'étude de la cellule musculaire striée squelettique. - Analyser des données pour argumenter le rôle de gènes dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.
Précisions et limites : *Les modalités du couplage excitation-contraction ne sont pas exigibles.* *On se limite à mentionner l'existence de facteurs paracrines sans détailler les voies de signalisation.* *On se limite à présenter la famille des gènes codant des facteurs myogéniques et leur rôle dans la différenciation des cellules musculaires striées squelettiques.* *Pour cette partie, on peut utiliser des données issues de l'étude de différents modèles vertébrés.* *L'analyse de la différenciation de cellule musculaire striée squelettique est fondée sur des données issues des techniques suivantes dont les principes doivent être connus : hybridation* in situ*, immunocytochimie, northern blot, western blot, étude d'animaux génétiquement modifiés, expression de gènes rapporteurs.*	
Liens : Organisation fonctionnelle des vertébrés tétrapodes (SV-A-1) Organisation des cellules eucaryotes et relation entre organisation cellulaire et fonction (SV-C-1, SV-C-2). Contrôle de l'expression génétique par des facteurs de transcription (SV-D-3). Complémentarité des gamètes, modalités de la fécondation chez les Mammifères (SV-E-3) Modalités de communications intercellulaires - notion de paracrinie (SV-G-2)	

SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme (TB2)

Le fonctionnement d'un organisme pluricellulaire repose sur la coopération entre différents tissus, organes et appareils. La coordination des différentes structures est fondée sur des communications entre cellules par le biais de messagers chimiques ou de signaux électriques. Les modalités et les exemples de communication intercellulaire abordés sont choisis parmi les contrôles développés dans les différentes parties du programme.
Dans cette partie, l'intégration d'une fonction à l'échelle d'un organisme est conduite à partir de l'exemple de la fonction circulatoire chez les Mammifères. L'étude de la circulation sanguine systémique est l'occasion de développer les principes d'une régulation et d'une adaptation physiologique à partir de l'étude de la pression artérielle.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-G-1 Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères	
La circulation sanguine est un système de distribution à haut débit du sang (plasma et éléments figurés). Le système circulatoire sanguin des Mammifères est organisé par deux circulations en série : circulation systémique et circulation pulmonaire. Les artères, réservoir de pression, distribuent le sang aux réseaux de capillaires. Les capillaires constituent une très importante surface d'échanges entre le sang et le milieu interstitiel selon trois grandes modalités : transports transmembranaires, transcytose et filtration-réabsorption. Les veines collectent le sang et constituent un réservoir de volume. La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire) dépendants des activités cardiaque et vasculaire.	- Caractériser l'organisation histologique et anatomique des différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies. - Relier les caractéristiques des vaisseaux sanguins à leurs propriétés fonctionnelles (débit, vitesse et pression sanguins, résistance vasculaire, compliance). - Expliquer l'importance fonctionnelle de l'organisation en dérivation de la circulation systémique. - Représenter les échanges capillaires par filtration-réabsorption selon le schéma de Starling et discuter de leur importance pour l'homéostasie du milieu intérieur. - Utiliser la loi de Hagen-Poiseuille pour modéliser les relations entre pression et débit sanguins à l'échelle d'un vaisseau et à l'échelle de la circulation systémique (en incluant un paramètre de résistance périphérique totale) - Définir la relation entre pression artérielle moyenne et pression artérielle différentielle.
Précisions et limites : *L'étude histologique et anatomique porte sur les artères musculaires, artérioles, veines musculaires et capillaires continus.* *La présence de cellules dans le sang est citée sans développement.*	
Le cœur est un muscle à rôle de pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global. Le cœur présente un fonctionnement cyclique caractérisé par une succession de systoles et de diastoles. Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des propriétés du tissu nodal. Ce dernier a la capacité de générer, de façon cyclique, des potentiels d'action. Ces derniers sont propagés au sein du tissu de conduction et génèrent des potentiels d'action dans le tissu musculaire cardiaque. Ceux-ci provoquent la contraction du cœur selon la séquence caractéristique du cycle cardiaque.	- Sur un cœur de Mammifère : • identifier les différentes cavités et valvules ; • reconnaître les vaisseaux en connexion avec les cavités cardiaques ; • expliquer la circulation unidirectionnelle du sang à partir de l'analyse des dispositifs anatomiques. - À partir d'une préparation microscopique, présenter l'organisation fonctionnelle du tissu myocardique contractile. - Relier les étapes du cycle cardiaque au rôle de pompe du cœur. - Mettre en relation débit cardiaque, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique. - Relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme et les vitesses de propagation de l'excitation cardiaque avec la séquence de contraction.

	- Relier les caractéristiques du potentiel d'action des cellules du nœud sinusal aux variations de conductances ioniques constatées.
Précisions et limites : *L'étude des potentiels d'action est limitée à celui généré par le nœud sinusal. La technique d'électrocardiographie n'est pas exigible. Le couplage excitation/contraction des cardiomyocytes n'est pas au programme.*	
La pression artérielle moyenne est maintenue dans une gamme de valeurs restreinte, variable selon les individus et les conditions, par des mécanismes de régulation. Le baroréflexe rectifie les écarts à la valeur de consigne de la pression artérielle mesurée à partir de récepteurs. Les centres intégrateurs, situés dans le système nerveux central, modifient l'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les informations transitent par les nerfs sympathiques et parasympathiques du système nerveux autonome.	- Analyser des résultats expérimentaux afin d'identifier la nature et le rôle des différentes composantes de la boucle de régulation du baroréflexe. - Expliquer les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire.
Précisions et limites : *Dans le cadre du baroréflexe, on ne discute que des barorécepteurs de haute pression. On se limite à présenter les voies centripètes et centrifuges du système nerveux autonome sans détailler les centres intégrateurs du système nerveux central et les relais ganglionnaires. Pour les contrôles autres que celui de la fréquence cardiaque, les voies de transduction à l'échelle cellulaire ne sont pas au programme.*	
Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés par des changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires sont le produit de contrôles nerveux, hormonaux et paracrines. Des récepteurs vasculaires et musculaires informent les centres intégrateurs de l'état physiologique de l'organisme au cours de l'effort. Les boucles de contrôle forment ainsi des réseaux interconnectés modifiant l'activité des effecteurs en fonction de la situation.	- Mettre en relation les variations des différents paramètres circulatoires au cours d'un effort physique (pression artérielle moyenne, résistance périphérique, débit cardiaque, débits sanguins dans les différents organes). - Justifier la notion d'adaptation physiologique à partir de l'analyse des conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle. - Identifier les composantes des systèmes de contrôle globaux et locaux impliqués dans l'adaptation à l'effort physique. - Caractériser différentes périodes de contrôles : au début de la période d'effort, pendant l'effort puis à la fin de la période d'effort.
Précisions et limites : *Le contrôle local est limité aux facteurs de l'hyperhémie active et au monoxyde d'azote.*	
Liens : Fonctions de nutrition d'un organisme animal, bouche de régulation (SV-A-1) Organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire pulmonaire, relations entre convections externe et interne, rôle de l'hémoglobine dans le sang (SV-B-1) Comparaison avec la circulation des sèves chez les Angiospermes (SV-B-2) Jonctions intercellulaires (SV-C-1) Echanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane (SV-C-3) Organisation fonctionnelle de la cellule musculaire striée squelettique (SV-F-2)	
SV-G-2 Communications intercellulaires chez les animaux	
Il existe différentes modalités de communications (nerveuse, endocrine, paracrine) complémentaires et en interaction assurant la coordination des fonctions de l'organisme. Le mode d'action des messagers chimiques (neurotransmetteurs, hormones, facteurs paracrines) sur les cellules cibles requiert l'interaction avec un récepteur spécifique. Les réponses cellulaires sont distinctes selon la compétence de la cellule cible (récepteurs, voies de signalisations activées, contrôle de	- Comparer les modalités de communication : nature des messagers, codage du message, voies de transfert de l'information, vitesse de transfert et décodage. - Illustrer la diversité des voies de transduction et/ou de réponses possibles pour un même messager chimique, l'acétyl-choline. - Présenter une voie de transduction comprenant un relai intracellulaire avec un second messager (ex. : voie des protéines G et de l'AMPc).

l'expression génétique). L'extinction du signal est souvent liée à la dégradation des messagers. Les étapes de transduction intracellulaires permettent l'amplification de la réponse cellulaire aux messagers extracellulaires.	- Illustrer à l'aide d'un exemple un mécanisme de dégradation de messager chimique et son importance physiologique.
Précisions et limites : *On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : différenciation de la cellule musculaire striée, contrôle de l'activité cardiaque, contrôle de la vasomotricité, interactions paracrines au cours du développement embryonnaire.*	
Les cellules excitables sont caractérisées par leur capacité à générer un potentiel d'action. Le potentiel d'action neuronal s'explique par les variations de conductance de canaux sensibles à la tension (voltage-dépendant). Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'action. Dans les neurones, le potentiel d'action se propage de façon unidirectionnelle et régénérative le long de l'axone. Le diamètre des fibres affecte leur conductivité et donc la vitesse de propagation des potentiels d'action, de même que la présence d'une gaine de myéline. La synapse transmet l'information d'une cellule excitable à une autre. La synapse chimique implique l'exocytose de neurotransmetteurs dans une concentration déterminée par la fréquence de potentiels d'action du message nerveux. Les neurotransmetteurs se lient à des récepteurs ligands-dépendants provoquant une variation de potentiel transmembranaire de la cellule cible. Dans certaines cellules, ces variations de potentiel transmembranaire conduisent à la genèse de potentiels d'action post-synaptiques. La diversité des potentiels d'action est liée aux propriétés des canaux impliqués (spécificité ionique, contrôle de l'ouverture et de la fermeture).	- Caractériser les différentes phases du potentiel d'action neuronal. - Relier la variation du potentiel membranaire aux modifications de conductances provoquées par les canaux ioniques. - Exploiter des enregistrements de patch-clamp pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant. - Expliquer, dans un fonctionnement synaptique, les caractéristiques du transfert d'information : nature du signal, nature du codage, extinction du signal. - Relier sur un exemple le fonctionnement des récepteurs ligands-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines membranaires (site, allostérie, hydropathie et localisation...). - Expliquer les modalités de genèse d'un potentiel d'action post-synaptique à partir de l'exemple du potentiel d'action musculaire. - Comparer le potentiel d'action neuronal (motoneurone) et le potentiel d'action des cellules pacemaker du nœud sinusal : phases, durées, séquences de variations de conductance.
Précisions et limites : *Le potentiel d'action du motoneurone et la synapse neuromusculaire servent de support à la présentation des concepts à étudier. Le principe de la technique du patch-clamp est présenté mais l'explication des différents montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible. On présente la production du potentiel d'action musculaire à la suite de la stimulation de la cellule par un motoneurone. Les autres mécanismes de production de potentiels post-synaptiques et leur intégration ne sont pas au programme.*	
Le message hormonal est délivré par une cellule endocrine à la suite d'une stimulation. Les hormones transitent par le sang en de très faibles concentrations. Les cellules cibles expriment les récepteurs spécifiques et les éléments de la voie de signalisation conduisant à une réponse biologique.	
Précisions et Limites : *On s'appuie sur des exemples développés dans d'autres parties du programme : contrôles de l'activité cardiaque et de la vasomotricité.*	
Liens : Relations entre fonctions au sein d'un organisme animal (SV-A-1) Rôles des messagers chimiques dans le développement végétatif ou reproducteur des Angiospermes (SV-B-3) Échanges transmembranaires et origine du potentiel de membrane, cytoses (SV-C-3) Modalités de contrôle de l'expression des génomes (SV-D-3) Rôles des facteurs paracrines dans le développement du membre (SV-F-2) et la différenciation de la cellule musculaire striée (SV-F-3) Contrôles de l'activité cardiaque et contrôles de la vasomotricité (SV-G-1)	

SV-H Populations et écosystèmes (TB 2)

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

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-H-1 Les populations et leur démographie	
Les organismes sont regroupés en populations dont les effectifs varient au cours du temps, selon les paramètres démographiques. L'effectif d'une population fluctue sous l'effet de facteurs variés dont les facteurs du biotope et les facteurs intrinsèques à la population. La capacité biotique correspond à l'effectif maximal que peut soutenir un milieu. La variation d'effectif d'une population peut être approchée par des modèles mathématiques simples : croissance exponentielle et croissance logistique. Une métapopulation correspond à un ensemble de populations connectées. Les migrations font varier les effectifs des populations. Les relations interspécifiques sont également responsables de variations des effectifs des populations.	- Analyser des données de variations d'effectifs de populations sous l'effet de facteurs indépendants de la densité (facteurs du biotope), et dépendants de la densité (cas de la densité-dépendance avec compétition intraspécifique). - Modéliser les variations d'effectifs dans le cas d'une croissance exponentielle et d'une croissance logistique (modélisation numérique) et discuter des limites de ces modèles. - Discuter dans le cadre du modèle logistique des stratégies démographiques r et K. - Analyser les effets des relations interspécifiques sur les effectifs des populations dans le cas de la prédation et les modéliser (modèle de Lotka-Volterra).

Précisions et limites :
Les stratégies démographiques r et K sont présentées comme les produits d'une sélection exercée par l'environnement (on peut parler également de sélection r et sélection K) sur les caractères impliqués dans la démographie des populations. Un lien pourra être fait avec les paramètres de la croissance bactérienne. Le taux de croissance bactérienne μ, y est préféré à r pour son utilité dans le cadre des Biotechnologies et de l'industrie ; l'évolution de μ au cours d'un suivi de croissance bactérienne est comparable à l'évolution de r dans le cadre de la densité dépendance.
Les modèles à mémoriser sont ceux de la croissance exponentielle et de la croissance logistique. Le formalisme mathématique du modèle de prédation de Lotka-Volterra n'est pas à mémoriser.

Liens :
Reproduction des organismes et effectifs des populations (SV-E)
Relations interspécifiques (SV-H- 2-2)
Dynamique des écosystèmes (SV-H-2-4)
Valeur sélective ; forces évolutives (SV-I-1)
Activités de terrain
Mathématiques – informatique
Biotechnologie : croissance des microorganismes (3.3.3) ; Les enzymes, des biomolécules présentant une activité catalytique (2.2)

SV-H-2 Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique	
SV-H-2-1 Organisation des écosystèmes	
L'écosystème est un ensemble circonscrit par un observateur/expérimentateur. La biocénose et le biotope sont les composants de l'écosystème.	- Présenter la notion de richesse spécifique à partir de l'exemple de la prairie pâturée. - Présenter la notion de groupe fonctionnel dans le cas des végétaux de la prairie.

La biocénose comprend l'ensemble des populations des différentes espèces, y compris microbiennes. Elle comporte une diversité intraspécifique, une diversité interspécifique et une diversité de groupes fonctionnels. La richesse spécifique est une mesure du nombre d'espèces. Il existe des indices de biodiversité tenant compte de l'abondance et de l'équitabilité des différentes espèces. Les organismes ingénieurs sont des espèces qui construisent le milieu et / ou modifient l'habitat pour d'autres espèces. La distribution spatiale des composants de l'écosystème détermine sa structure.	- Mettre en œuvre un protocole d'étude de la diversité spécifique sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation). - Caractériser une structuration spatiale de l'écosystème sur le terrain (cas de la structuration verticale dans l'écosystème forestier).
Précisions et limites : *Aucune formule d'indices de biodiversité n'est exigible : elles sont fournies aux étudiants pour calculer ces indices et interpréter les valeurs des indices dans un contexte donné.* *Les activités de terrain gagneront à croiser Biotechnologies et SVT.*	
Liens : Biodiversité dans les sols **(**BG-B-1) Stratégies r et K (SV-H-1) Diversité génétique (SV-D-1) Biodiversité des sols (BG-B-1-1) Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3) Activités de terrain	
SV-H-2-2 – Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème	
Au sein de l'écosystème, les espèces entretiennent entre elles des relations variées qui affectent la valeur sélective (*fitness*) des organismes et la structure de leur population : mutualisme, parasitisme / prédation / phytophagie, compétition, commensalisme, amensalisme. La typologie des relations interspécifiques présente des cas limites qui, pour un couple d'espèce donné, peuvent dépendre du stade et du contexte écologique. Ces relations interspécifiques modifient la niche écologique potentielle en une niche écologique réalisée. Les espèces clefs de voûtes sont celles dont la disparition conduit à des modifications importantes de la structure des écosystèmes.	- Discuter de la catégorisation des relations interspécifiques et de leurs limites. - Caractériser des interactions parasitaires, compétitives ou mutualistes. - Analyser sur le terrain et/ou en TP le réseau des diverses relations interspécifiques centré sur un organisme (l'arbre) : épiphytes (dont lichens), parasites, phytophages, organismes mutualistes (dont symbiotiques), compétiteurs. - Décrire et relier les interactions interspécifiques à la dynamique d'une population et à la délimitation de sa niche écologique réalisée à partir de sa niche écologique potentielle (en particulier dans le cas de l'effet Janzen-Connell sur la végétation). - Expliquer le rôle des bovins, espèce clef de voûte, dans l'entretien d'un milieu ouvert prairial.
Précisions et limites : *Les relations interspécifiques sont soutenues par un seul exemple à chaque fois vu ailleurs dans le programme.* *La symbiose est envisagée comme un cas de relation mutualiste. Dans une définition basée sur la valeur sélective, la prédation (s.l.) et le parasitisme sont (selon les auteurs) des cas particuliers l'un de l'autre.*	
Liens : Regards sur un organisme Métazoaire : un bovidé (SV-A-1) Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2) Implications des nodosités fixatrices d'azote et mycorhizes dans la nutrition des Angiospermes (SV-B-2) Importance des relations mutualistes dans la pollinisation et la dissémination chez les angiospermes (SV-G-1) Effectif des populations (SV-H-1) Interactions trophiques (SV-H-2-3) Biodiversité fonctionnelle des sols (BG-B-1-1) Activités de terrain Biotechnologies : microorganismes chimiotrophes et phototrophes autotrophes (3.2.2 & 3.2.3) ; écologie microbienne (3.2.4)	

SV-H-2-3 Fonctionnement des écosystèmes	
Les interactions trophiques constituent des chaînes trophiques où les producteurs primaires et les consommateurs constituent des niveaux trophiques. Tous les consommateurs (y compris microbiens) effectuent une décomposition et une minéralisation. La production primaire est réalisée par les organismes photolithotrophes et chimiolithotrophes. Le fonctionnement des chaînes trophiques peut être représenté quantitativement par des pyramides (biomasse et énergie). Dans le système herbe-vache, la symbiose avec les micro-organismes et l'utilisation croisée des déchets des partenaires augmentent le rendement entre échelons trophiques. Les chaînes trophiques se structurent en réseaux trophiques. Au sein des réseaux trophiques, il existe des régulations des effectifs de leurs maillons de façon descendante (*top-down*) ou ascendante (*bottom-up*). La productivité définie comme la production divisée par la biomasse du producteur, varie selon l'écosystème. Le fonctionnement de ces réseaux contribue au recyclage de la biomasse. L'écosystème est un système ouvert. Le fonctionnement de l'écosystème repose sur un flux de matière et d'énergie (issue du Soleil ou de réactions chimiques). Des processus biologiques réalisent à l'échelle de l'écosystème des fonctions écologiques dont l'humanité tire bénéfice (notion de services écosystémiques).	- Caractériser, pour chaque niveau trophique, la production de biomasse et comparer, pour chaque niveau, les productions (primaire, secondaire, etc.) et les rendements (pertes associées aux transferts entre niveaux trophiques). - Discuter de la place de la vache (un ruminant) dans les pyramides de production (en biomasse et énergie). - Comparer les productivités dans les cas de la pâture et de la forêt. - Montrer l'influence de paramètres abiotiques sur la production primaire (cas des paramètres climatiques et influence des fertilisants dans les sols exclusivement). - Discuter le rôle des décomposeurs et des chimiolithotrophes (cas de la nitrification) dans le recyclage des ressources minérales. - Estimer le flux d'énergie dans un écosystème. - Relier la production primaire et l'utilisation de l'énergie issue du Soleil (phototrophie) ou de réactions chimiques (chimiolithotrophie). - Établir un bilan quantitatif (matière et énergie) des exportations / importations d'une pâture les informations étant fournies.
Précisions et limites : *Les notions de décomposition et minéralisation déjà présentées dans la partie sur les sols (BG-B) sont ici réinvesties au service de la notion de recyclage.* *Les ordres de grandeur des importations et des exportations, des productions, sont discutés sans être exigibles.* *La notion de service écosystémique déjà présentée dans la partie « Les Sols » (en TB1) au travers de deux exemples est élargie sans qu'il soit nécessaire de retenir de nouveaux exemples*	
Liens : Regards sur un organisme Métazoaire : un bovidé (SV-A-1) Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée (SV-A-2) Types trophiques des organismes unicellulaires (SV-A-3) Biodiversité fonctionnelle dans les sols (BG-B-1-1) Les enjeux de la gestion des sols (BG-B-2) Cycle du C (BG-A-1) ; cycle de l'azote (BG-A-2) Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3) Biotechnologies : écologie microbienne (3.2.4)	
SV-H-2-4 Dynamique des écosystèmes	
Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques dans leur structure et leur fonctionnement. Des perturbations abiotiques ou biotiques (dont les perturbations anthropiques) peuvent faire évoluer leur structure et leur fonctionnement. La stabilité d'un écosystème est définie par sa résistance et sa résilience. La résistance d'un écosystème est sa capacité à maintenir son état initial suite à une perturbation.	- Illustrer la notion de perturbation (fréquence, intensité). - Montrer, à partir de bilans qualitatifs et quantitatifs fournis, que des perturbations d'origine biotique ou abiotique peuvent modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème. - Expliquer le rôle de la facilitation écologique et de la compétition interspécifique dans une dynamique de végétation sur l'exemple de l'éclairement dans la transition vers la forêt (climax).

La résilience d'un écosystème est sa capacité à revenir à son état initial après avoir subi une perturbation. Des successions écologiques sont observables après des perturbations. La gestion des écosystèmes nécessite d'intégrer leurs dynamiques suite à des perturbations.	

Précisions et limites :
Aucun exemple de gestion d'un écosystème n'est à mémoriser.
Le climax est un état d'équilibre dynamique vers lequel tend spontanément un écosystème, qui peut varier sur le long terme.
L'étude des successions écologiques est l'occasion de réinvestir et prolonger des notions abordées dans la partie « les sols » : la pédogénèse accompagne la succession des peuplements végétaux ; des microorganismes du sol sont impliqués dans des processus de facilitation écologique.

Liens :
Effectif des populations (SV-H-1)
Le sol, un ensemble dynamique (BG-B-1-3)
Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)
Biotechnologies : écologie microbienne (3.2.4)

SV-I Évolution et phylogénie (TB 1 et TB 2)

La diversité du vivant est le résultat d'une histoire évolutive et est en devenir permanent. Il s'agit ici de comprendre les mécanismes de l'évolution, à la lumière de la théorie synthétique de l'évolution, qui expliquent l'origine de la diversité génétique au sein des populations et des espèces, mais aussi la diversité des espèces.
Le regroupement des organismes selon leur degré de parenté conduit à la production de classifications phylogénétiques. La phylogénie permet de proposer des scénarios évolutifs qu'il s'agisse de l'histoire des taxons ou de l'histoire de caractères au sein de plusieurs taxons. En première année, l'objectif est de savoir lire et interpréter des arbres phylogénétiques. En seconde année, l'objectif est de comprendre les principes d'établissement des phylogénies et de construire des scénarios évolutifs à l'échelle de l'arbre du vivant. Cette partie permet aussi aux étudiants de prendre du recul sur l'évolution biologique, qui constitue un fil rouge des programmes, et qui vise à dépasser des obstacles épistémologiques. Il s'agit notamment de dépasser une pensée finaliste en mobilisant un raisonnement sélectif darwinien et en laissant sa place au hasard. On évite aussi toute forme de fixisme (il n'y a ni fossile vivant, ni organisme primitif, ni pérennité de l'espèce).

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
SV-I-1 Les mécanismes de l'évolution (TB 2)	
Les espèces, formées de populations plus ou moins connectées entre elles, peuvent être étudiées comme des ensembles d'allèles. Chez les organismes diploïdes, l'hétérozygotie est plus ou moins maintenue selon le régime de reproduction (asexué ou sexué plus ou moins panmictique). Le polymorphisme existant dans les populations est affecté par les mutations, la migration, la sélection et la dérive. Le modèle de Hardy-Weinberg (modèle par défaut ou modèle nul) permet de caractériser les écarts à l'équilibre attendu en panmixie.	- Comparer les conséquences génétiques de la reproduction sexuée *versus* asexuée. - Comparer les conséquences génétiques de l'homogamie et de l'hétérogamie. - Comparer des données acquises par l'observation ou issues de publications aux proportions attendues d'après le modèle de Hardy-Weinberg et les interpréter.

Précisions et limites :
Les conséquences génétiques de l'hétérogamie sont étudiées pour le locus S des Angiospermes. Les tests statistiques vus en mathématiques peuvent être remobilisés en génétique des populations.

Les mécanismes de l'évolution peuvent être étudiés par différentes approches, dont l'évolution expérimentale. Les mutations sont aléatoires et engendrent du polymorphisme dans une population. Les flux	

migratoires peuvent augmenter ou réduire le polymorphisme d'une population. La sélection est un processus majeur de reproduction différentielle où la valeur sélective (*fitness*) se mesure au nombre de descendants viables et fertiles produits. La valeur sélective d'un trait génétique dépend de l'environnement ; elle diminue parfois la valeur sélective d'autres traits (compromis évolutif). La sélection exerce un tri orienté de la diversité génétique, mais peut aussi entretenir un polymorphisme dans certains cas. Elle est soumise à la composante aléatoire de l'environnement. La dérive génétique réalise un tri aléatoire des allèles d'une génération à l'autre. Son intensité dépend de la taille des populations. La dérive agit sur tous les traits mais agit seule sur les traits neutres. La biodiversité actuelle est donc le résultat des différentes forces évolutives : mutation, migration, sélection et dérive.	- Argumenter la notion de compromis évolutif à partir de l'exemple des caractères potentiellement handicapants des mâles. - Comparer sélection directionnelle et sélection balancée. - Exploiter des données pour déterminer une modalité de sélection sur des traits quantitatifs. - Discuter de facteurs de sélection et de la valeur sélective d'un trait de caractère à partir de documents fournis. - Modéliser, à l'aide d'un logiciel, des cas de sélection ou de dérive afin d'expliquer l'évolution d'une population. - Distinguer les effectifs efficace et total d'une population dans l'intensité de la dérive. - Identifier l'importance du hasard dans l'évolution (exemple des crises).
Précisions et limites : *On peut s'appuyer notamment sur les expériences historiques de Luria et Delbrück (1948) et de Buri (1956) pour argumenter respectivement le caractère aléatoire des mutations et la dérive. La sélection balancée est construite sur l'exemple du locus S des Angiospermes ou de la proportion des mâles et des femelles afin de s'appuyer sur un exemple où seule la sélection intervient dans le maintien du polymorphisme.* *Pour la dérive génétique, on s'appuie sur un exemple d'effet fondateur.*	
L'espèce, qui joue un grand rôle dans la description de la biodiversité observée, est un concept élaboré par l'être humain. Chez les Eucaryotes, les isolements reproducteurs conduisant à des isolements génétiques permettent de définir des espèces biologiques. L'isolement reproducteur conduit à la formation d'espèces (ou spéciation) par différentes modalités : allopatrique ou sympatrique. Néanmoins, les transferts horizontaux et les hybridations (qui induisent des introgressions) sont des limites à ces isolements. Ces phénomènes entraînent une évolution réticulée du vivant. Les espèces et les populations ne sont pas pérennes car elles sont constituées d'individus qui varient et sont soumis à la sélection et la dérive ; de plus elles peuvent s'éteindre. Sous l'effet de relations interspécifiques, les espèces sont en évolution permanente ou s'éteignent (théorie de la Reine Rouge) : c'est la coévolution, qui peut s'accompagner de cospéciation.	- Discuter différentes définitions de l'espèce, leurs contextes d'usage et leurs limites (définitions biologique, phénotypique, écologique, phylogénétique, …). - Exploiter des données scientifiques démontrant des cas de spéciation. - Argumenter la coévolution entre deux espèces pour un cas déterminé (plante-pollinisateur, hôte-parasite)
***Précisions et limites** :* *On étudiera un cas de spéciation allopatrique et un cas de spéciation sympatrique.* *La coévolution plante-pollinisateur peut s'appuyer utilement sur les analyses florales conduites en travaux pratiques.* *On prendra soin de discuter du concept d'espèces chez les Eucaryotes et les bactéries en lien avec l'enseignement de Biotechnologies.*	
Liens : Notions d'adaptation, de convergences et de régressions évolutives (SV-B-3-3) Diversité génétique, mutations, brassages génétiques et transferts horizontaux de gènes (SV-D-4) Variation d'effectif des populations (SV-H-1) Biocénose et diversité ; richesse spécifique (SV-H-2-1) Relations interspécifiques (SV-H-2-2)	

Phylogénie et biodiversité (SV-I-2-1)
Changement climatique et biodiversité (BG-C-3-3)

SV-I-2 Une approche phylogénétique de la biodiversité (TB 1 et TB 2)

SV-I-2-1 Lire et interpréter un arbre phylogénétique (TB 1)

Plusieurs types de classification existent en biologie selon les objectifs poursuivis : utilitaire, fonctionnel (écologique, physiologique), phylogénétique. Elles s'appuient sur différents caractères : fonctionnels, morphologiques, anatomiques, embryologiques (pour les pluricellulaires), biochimiques ou moléculaires (en plein essor grâce aux outils de la biologie moléculaire et de la bioinformatique). Les classifications post-darwiniennes cherchent à refléter les parentés évolutives. Les classifications utilisent la ressemblance de caractères entre taxons, qui peut être due à des homoplasies (dont les convergences) ou à des homologies (caractère hérité d'un ancêtre commun). Les caractères présentent différents états, primitifs ou dérivés, utilisés pour établir des parentés entre taxons. Les classifications dites évolutionnistes ne retenaient que les homologies mais acceptaient les groupes paraphylétiques ; elles ne sont plus utilisées en taxonomie. Les classifications phylogénétiques (ou cladistiques) ne retiennent que les ressemblances particulières à une partie des organismes à classer (ce sont les synapomorphies, ou caractères partagés à l'état dérivé) : elles définissent des groupes monophylétiques.	- Distinguer classification (utilisée pour la création des taxons) et tri (par exemple pour la détermination des individus). - Mettre en relation la topologie d'un arbre phylogénétique (branches, nœuds, feuilles, racine) et les concepts sous-jacents (concept d'ancêtre commun, de groupes frères, principe de libre rotation des branches). - Distinguer sur un arbre phylogénétique des groupes mono-, para- et polyphylétiques. - Identifier les synapomorphies, les symplésiomorphies et les convergences sur un arbre phylogénétique. - Argumenter l'histoire évolutive d'un caractère à partir de l'analyse d'arbre.

Précisions et limites :
On distingue des groupes phylogénétiques des groupes fonctionnels (écologiques, physiologiques) mais polyphylétiques vus dans les autres parties du programme et lors des sorties. Les exemples étudiés sont choisis parmi ceux travaillés dans les autres thèmes du programme de SVT, en particulier lors des séances d'anatomie fonctionnelle et du programme de Biotechnologies.
Il s'agit de lire un arbre à partir de données fournies et non de construire un arbre en autonomie. Les fondements de la polarisation sont étudiés en TB 2.

Liens :
Regards sur les organismes (SV-A)
Organisation des génomes et techniques de biologie moléculaires (SV-D)

SV-I-2-2 Construire un arbre phylogénétique (TB 2)

L'établissement d'une phylogénie repose sur l'exploitation d'un jeu de caractères sous différents états pour un ensemble de taxons. Un nombre fini d'arbres est obtenu récapitulant toutes les transformations possibles. On détermine l'arbre le plus probable selon différentes approches. Le principe de parcimonie retient l'arbre qui minimise le nombre d'événements évolutifs indépendants. D'autres approches se fondent sur des modèles probabilistes (fixant les probabilités des changements évolutifs) pour déterminer le ou les arbres le(s) plus probable(s) selon le modèle choisi (comme l'approche du maximum de vraisemblance). Les arbres retenus par ces méthodes permettent de distinguer les homologies des homoplasies et de déterminer les états primitifs et dérivés de chaque caractère.	- Argumenter la validité ou non de certains groupes en phylogénie et discuter le maintien d'usage de certains groupes para- ou polyphylétique selon le domaine de validité (ex. phylogénie, écologie, vie quotidienne), en l'appliquant à des groupes étudiés en biotechnologies. - Construire une phylogénie par parcimonie (cladogramme) à partir d'un jeu de taxons et de caractères fournis (chez les Métazoaires ou les Embryophytes). - Polariser des caractères à l'aide de différents arguments (extra-groupe, embryologie, fossiles). - Discuter le caractère provisoire d'une phylogénie en fonction du jeu de caractères, de taxons utilisés et de l'évolution des méthodes.

Précisions et limites

On se contente de mentionner l'existence de méthodes probabilistes. Aucune méthode de calcul ou test statistique n'est au programme.

L'étude de la phylogénie est l'occasion de conduire une réflexion d'ordre épistémologique sur la nature des savoirs scientifiques et leur élaboration. Il s'agit notamment d'accéder au caractère provisoire et réfutable des savoirs scientifiques (évolution des phylogénies au cours de l'histoire des sciences), à l'ancrage théorique des savoirs scientifiques (notamment dans la relation entre classification et théorie de l'évolution), à leur dépendance aux techniques d'étude du réel (développement d'outils bioinformatiques, moléculaires, etc.).

SV-I-2-3 Analyser des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs (TB 2)

Plusieurs arbres du vivant se sont succédés depuis les premières classifications phylogénétiques avec l'enrichissement des données sur la biodiversité et l'évolution des technologies moléculaires. Les virus ne sont pas placés dans l'arbre du vivant. L'arbre du vivant illustre la divergence évolutive, la possibilité d'évolution régressive et l'homoplasie (convergence et réversion). C'est le cas par exemple pour la possession de plastes et l'état pluricellulaire. Certains groupes définis par leurs ressemblances écologiques témoignent d'une convergence évolutive, comme les végétaux (au sens des organismes réalisant la photosynthèse oxygénique), les algues. La confrontation d'arbres phylogénétiques peut révéler des coévolutions et/ou cospéciations.	- Identifier un transfert horizontal de gène comme une différence de topologie (incongruence) entre les arbres phylogénétiques basés sur ce gène et sur d'autres gènes. - Argumenter l'absence des virus dans l'arbre du vivant. - Argumenter que l'évolution ne peut pas être présentée en termes de « progrès », qu'elle peut être simplificatrice, et qu'elle n'a ni direction, ni but. - Identifier sur un arbre l'acquisition multiple de l'état pluricellulaire et les réversions de cet état (ex. des levures). - Exploiter des données afin de discuter l'histoire évolutive d'un groupe, les données et les arbres phylogénétiques étant fournies. - Argumenter la théorie endosymbiotique des plastes ainsi que les endosymbioses primaires et secondaires des plastes. - Identifier et expliquer des convergences évolutives. - Réaliser des observations macroscopiques et microscopiques, avec ou sans coloration, afin de mettre en évidence des caractères des algues en relation avec une analyse phylogénétique. - Exploiter des données biochimiques et des clichés de microscopie électronique d'algues et d'organismes unicellulaires pour discuter leur place dans l'arbre phylogénétique ou la signification évolutive d'un de leurs caractères.

Précisions et limites :

Cette partie s'appuie sur les organismes vus par ailleurs dans le programme, au cours des travaux pratiques et des sorties. L'arbre du vivant avec ses trois grands domaines (Archées, Bactéries et Eucaryotes) permet de remettre en cause le groupe des procaryotes.

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

Concernant la pluricellularité, on ne présentera pas de scénarios sur les modalités d'acquisition ou de réversion.

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

La diversité des unicellulaires est aussi illustrée avec les exemples vus en Biotechnologies.

Liens :

Regards sur les organismes (SV-A)
Diversité génétique (SV-D-4)
Homologie ; Convergence et régression évolutives (SV-A ; SV-B ; SV-I-1 ; SV-I-2)
Biotechnologies : le monde microbien : unité et diversité (3.1)

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

	TB 1	TB 2
SV-A L'organisme vivant en interaction avec son environnement	5 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (morphologie, anatomie, histologie) : souris, Téléostéen, criquet et moule. 1 séance « morphologie des Angiospermes »	
SV-B Interactions entre les organismes et leur milieu de vie	• 2 séances « morphologie et anatomie primaire des Angiospermes » • Activités pratiques sur la respiration en lien avec les 5 séances « organisation fonctionnelle des Métazoaires » (SV-A)	3 ou 4 séances • 2 ou 3 séances « développement et anatomie des structures secondaires ; adaptations des Angiospermes » • 1 séance « développement de l'appareil reproducteur des Angiospermes »
SV-C La cellule dans son environnement	• 3 séances « observations microscopiques de tissus et de cellules »	1 séance « métabolisme et intégration physiologique »
SV-D Génomique structurale et fonctionnelle	3 séances • 2 séances « méthodes d'étude des génomes et de leur expression » • 1 séance « divisions cellulaires » • Activités pratiques en lien avec une séance reproduction (SV-E)	
SV-E Reproduction	4 séances • 2 séances « structure, détermination et biologie florale » • 1 séance « dissémination – semences chez les Angiospermes (reproduction sexuée et asexuée) • 1 séance « reproduction chez les Mammifères » (en lien avec la partie génomique SV-D)	
SV-F Le développement embryonnaire chez les vertébrés		2 séances • « Vue d'ensemble du développement embryonnaire (modèle amphibien) » • « Mécanismes cellulaires et moléculaires du développement embryonnaire »
SV-G Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme		2 séances « étude anatomique et histologique du cœur et des vaisseaux (Mammifères) »
SV-H Populations et écosystèmes		3 séances : • 1 séance « dynamique des populations » • 2 séances « structure et fonctionnement des écosystèmes »
SV-I Évolution et phylogénie	1 séance « analyse d'arbres phylogénétiques »	4 ou 5 séances : • 1 ou 2 séances « génétique des populations et mécanismes de l'évolution » • 1 séance « reconstruction phylogénétique » • 1 ou 2 séances « analyse phylogénétique et scénarios évolutifs »
TOTAL	**19 séances**	**15 à 17 séances**

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.

BG-A Les grands cycles biogéochimiques (TB 2)

Cette partie traite des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote ainsi que de l'impact des activités humaines sur ces cycles biogéochimiques. La section sur le cycle du carbone est l'occasion de présenter les grandes caractéristiques du cycle biogéochimique d'un élément (réservoir, flux, temps de résidence). La section sur le cycle de l'azote, facteur limitant la croissance des plantes dans la majorité des écosystèmes terrestres, montre l'importance des transformations microbiennes au cours de ce cycle et permet d'aborder la notion de couplage entre cycles biogéochimiques du carbone et l'azote.
Le programme de SVT met l'accent sur le fonctionnement global des cycles biogéochimiques par une approche intégrative et systémique. Le détail des flux biologiques et leurs liens avec les types trophiques sont abordés en Biotechnologies.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
BG-A-1 Le cycle du carbone	
Le carbone se trouve sous différentes formes dans différents réservoirs vivants ou inertes : carbone réduit (biomasse actuelle et fossile), carbone oxydé (CO, CO_2, carbonates). Des flux physico-chimiques, géologiques et/ou biotiques relient ces réservoirs. Ces flux correspondent à des conversions (exemple de la photosynthèse et de la respiration) et/ou à des transferts physiques (exemple de la pompe physique du carbone dans l'océan). Le temps de résidence du carbone diffère selon les réservoirs. *Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote ont évolué au cours du temps et résultent d'une histoire commune avec la biodiversité.*	- Caractériser les principaux réservoirs du carbone : ordre de grandeur de leurs tailles respectives et temps de résidence du carbone dans ces réservoirs. - Déterminer l'ordre de grandeur de deux échanges annuels dans le cas du CO_2 atmosphérique : échanges avec la biomasse et avec l'océan. - Représenter schématiquement le cycle biogéochimique du carbone. - Identifier le rôle des organismes vivants dans l'altération des roches et comment cette altération participe à la précipitation de carbonates. - Expliquer le rôle de l'altération des silicates dans le piégeage du carbone. - Argumenter sur l'existence de sous-cycles lents et rapides dans le cycle du carbone. - Identifier les temps de résidence respectifs du CO_2 et du CH_4 dans l'atmosphère et leur effet dans la perturbation éventuelle du cycle.
Précisions et limites : *Les cycles étant déjà abordés au lycée, on peut remobiliser ici le cycle du carbone et le préciser dans les aspects quantitatifs et dans la diversité des mécanismes impliqués aux différentes échelles de temps.*	
Liens : Minéralisation et cycle de l'azote (BG-A-2) Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1-1) Réchauffement climatique (BG-C-3) Formation des roches carbonatées (ST-E-2) Biotechnologies : lien avec cycle de Calvin-Benson, bactéries méthanogènes (3.2.3) ; microorganismes chimiotrophes (3.2.2) ; écologie microbienne (3.2.4)	
BG-A-2 Le cycle de l'azote	
L'azote existe sous des formes organiques et minérales. Il se trouve sous différentes formes minérales en solution (dont l'ammonium NH_4^+, le nitrate NO_3^-) et dans l'atmosphère (dont l'oxyde nitreux N_2O, le diazote N_2). Les flux biotiques ont une place prépondérante dans le cycle de l'azote. De nombreuses étapes du cycle de l'azote sont purement microbiennes.	- Identifier les flux entre les différentes formes azotées (parmi lesquels l'ammonification, la nitrification, la dénitrification, la fixation du N_2 atmosphérique et l'assimilation de l'azote). - Représenter schématiquement le cycle biogéochimique de l'azote. - Réaliser une préparation microscopique de nodosités et / ou de Nostoc et expliquer leur rôle dans le cycle de l'azote. - Expliquer le couplage entre le cycle du carbone et celui de l'azote dans le cas de la minéralisation de la matière

L'oxyde nitreux (N_2O) est un gaz à effet de serre qui est produit par les processus microbiens de nitrification et de dénitrification. La matière organique comporte du carbone et de l'azote, sa minéralisation implique un couplage entre le cycle du carbone et le cycle de l'azote.	organique dans les sols (rapport C/N de la matière organique). - Relier le potentiel de minéralisation aux caractéristiques biotiques et abiotiques du sol.
Précisions et limites : *Seuls les flux précisés dans la colonne capacités exigibles doivent être connus.* *Les flux d'origine microbienne sont étudiés en Biotechnologies.*	
Liens : Fixation d'azote par les Fabacées (SV-B-2) Minéralisation et humification dans les sols (BG-B-1) Réchauffement climatique (BG-C-3) Biotechnologies : microorganismes chimiotrophes (3.2.2) ; écologie microbienne (3.2.4)	
BG-A-3 Impacts des activités humaines sur les cycles biogéochimiques	
Les activités humaines modifient le fonctionnement des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote. Les émissions anthropiques de CO_2 conduisent à une perturbation du cycle du carbone. Les activités humaines conduisent à une accumulation de composés azotés réactifs dans l'environnement.	- Identifier l'origine et le devenir du CO_2 émis par les activités humaines. - Identifier le devenir des engrais azotés, agents de fertilisation et d'eutrophisation des écosystèmes.
Précisions et limites : *L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques permet de présenter les couplages entre écosystèmes terrestres et aquatiques, elle est illustrée à partir de l'exemple des marées vertes sans entrer dans le détail des processus impliqués.*	
Liens : Azote, facteur limitant de la nutrition minérale des Angiospermes (SV-B-2) Impact des activités anthropiques sur les sols (BG-B-2) Réchauffement climatique et gaz à effet de serre (BG-C-3) Dynamique des écosystèmes (SV-H-2)	

BG-B Les sols (TB 1)

Le sol est un système étudié en interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre, de façon à comprendre un objet structurant la biosphère. Sa présentation, en lien avec les services écosystémiques qu'il délivre, met en exergue les raisons scientifiques qui en font un patrimoine à préserver. Dans cette partie, les différentes composantes du sol sont présentées avec une approche fonctionnelle et intégrative, en explicitant le rôle des organismes dans les processus. Les exemples et les mécanismes, exclusivement en régions tempérées, sont pris sur les sols bruns et leur devenir, les sols bruns lessivés. L'étude des sols s'appuie sur les connaissances en sciences de la Terre et en nutrition végétale, elle constitue une première approche des systèmes complexes impliquant plusieurs paramètres environnementaux qui seront approfondis en deuxième année dans les parties traitant de l'écologie, des cycles biogéochimiques et du climat.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
BG-B-1 Le sol : une interface vivante entre lithosphère et atmosphère	
BG-B-1-1 La phase solide des sols	
Le sol constitue l'interface entre l'hydrosphère et l'atmosphère, d'une part, et la lithosphère d'autre part. Le sol est constitué des produits de l'altération de la roche mère ainsi que de l'évolution de la litière, incluant décomposition, minéralisation de la matière organique et humification. Le sol comporte des organismes variés, liés notamment par un flux de matière et d'énergie au	- Décrire le profil d'un sol brun et ses horizons, en les reliant aux processus qui les mettent en place, par exemple à l'aide de documents photographiques ou de profils réalisés sur le terrain. - Expliquer les différences de dégradabilité de la matière organique (lignine, rapport C/N). - Quantifier la part relative des composantes minérale et organique du sol.

cours des relations trophiques au sein d'un réseau trophique. Leur grande biodiversité, macro- et microscopique, est aussi fonctionnelle : elle participe à la décomposition et la minéralisation de la matière organique ainsi qu'à l'altération de la roche mère. Le sol se subdivise en horizons différant par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. D'un point de vue granulométrique, le sol comporte des argiles (aux propriétés colloïdales), des limons et des sables.	- Expliquer le rôle des organismes du sol dans les processus de décomposition, humification et minéralisation de la matière organique. - Expliquer que l'évolution de la litière dépend de caractéristiques biotiques et abiotiques. - Identifier à partir d'une clef de détermination les constituant de la biocénose du sol (micro, méso et macrofaune). - Construire un réseau trophique à partir d'observations et d'autres données, en faisant le lien avec le processus de minéralisation et le flux de matière étudiés en Biotechnologies. - Expliquer le rôle des biofilms dans l'altération de la roche mère. - Déterminer la granulométrie d'un sol. - Discuter des rôles des argiles, limons et sable : rétention de cations, rétention de l'eau, aération du sol. - Identifier le complexe argilo-humique et son rôle d'adsorbant ionique.
Précisions et limites : *Ici, l'étude porte sur l'exemple du sol brun (ou brunisol). La terminologie des sols utilisée est simplifiée par rapport aux usages actuels des pédologues.* *On se limite à nommer les horizons par leur nature : organique, organo-minérale, roche mère altérée et roche mère (ou substrat) dans la description du sol.* *Les processus impliqués dans la formation des différentes formes d'azote présentes dans le sol seront étudiés en TB2 dans les parties traitant de l'écologie et des cycles biogéochimiques. Les activités de terrain gagneront à croiser SVT et biotechnologies.* *L'étude des flux de matière et d'énergie sont approfondis en seconde année.*	
Liens : Biotope et biocénose d'un écosystème (SV-H-2) Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2) Les facteurs d'altération (ST-B-1-1). Biotechnologies : diversité des métabolismes microbiens, un intérêt écologique (3.2) Physique-chimie : solutés (4.2)	
BG-B-1-2 Les phases fluides des sols	
Outre la phase solide, un sol possède une phase liquide, qui alimente les êtres vivants du sol, et une phase gazeuse, issue de l'atmosphère et de l'activité des êtres vivants. Certains gaz libérés par l'activité biologique du sol (CO_2, CH_4) sont des gaz à effet de serre. La structure, la granulométrie et la vie du sol déterminent sa porosité selon la possibilité d'une rétention capillaire. Le sol retient de l'eau, dont une partie est utilisable par les plantes. La solution du sol peut échanger avec le complexe argilo-humique des cations, disponibles pour les plantes. La teneur en eau à saturation est la teneur en eau maximale du sol. La capacité au champ est la capacité de rétention au point de ressuyage. La réserve utile en eau d'un sol est la quantité d'eau que la plante peut utiliser (différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et la teneur en eau au point de flétrissement permanent).	- Exploiter des données permettant d'expliquer la composition et l'origine de la solution du sol et de l'atmosphère du sol. - Mesurer la porosité et le pH d'un sol. - Mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) avec un chromophore chargé (par exemple le bleu de méthylène et l'éosine).

Le sol est un système ouvert réalisant des échanges avec l'atmosphère (exemple des gaz) et l'hydrosphère (exemple des nutriments).	
Précisions et limites *:* *Le bilan hydrique du sol est hors-programme. La fixation de N_2 est illustrée par des bactéries libres ou symbiotiques (Rhizobium).*	
Liens : Symbiose fixatrice d'azote des Fabacées (SV-A-2) Absorption racinaire des Angiospermes (SV-B-2) Biotechnologies : les microorganismes, des outils biotechnologies (3.3)	
BG-B-1-3 Le sol, un ensemble dynamique	
Un sol se forme par effet conjoint de la végétation et de l'évolution de la roche mère. Les composants du sol se déplacent notamment par diffusion, gravité et par bioturbation. La pédogenèse résulte d'interactions dynamiques croisées entre le sol et la végétation. Elle conduit à un état d'équilibre dynamique appelé pédoclimax (sol brun lessivé sous forêt caducifoliée dans les régions de France métropolitaine). Un sol se développe lorsque l'érosion est inférieure à la genèse par altération. Tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, d'intensité variable selon la topographie et le climat, mais la végétation peut limiter le phénomène. La dynamique globale d'un sol dépend aussi du climat.	- Expliquer la bioturbation par la plante et les vers de terre (espèces ingénieurs). - Évaluer l'ordre de grandeur de durée de la pédogenèse d'un sol brun lessivé. - Illustrer des liens réciproques entre nature du sol et végétation (exemple sur une même roche mère, les sols d'une prairie et d'une forêt ont des caractéristiques différentes ; une prairie ne sera pas composée par les mêmes espèces selon les types de sols). -Montrer que la végétation oriente l'évolution du sol en particulier par le biais de la biocénose microbienne du sol. - Exploiter des données montrant qu'un sol est soumis à l'érosion naturelle et caractériser l'effet de la végétation sur l'érosion des sols.
Précisions et limites *:* *On se borne à un sol brun et d'un sol brun lessivé.* *La présentation du principe général de la pédogenèse se limite à l'évolution de l'apparence et de l'épaisseur du sol, à l'apparition d'horizons, à la brunification et au lessivage.*	
Liens : Succession écologique et relations interspécifiques (SV-H-2) Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité (BG-C-3-3) Climat et altération des roches (ST-E-1) Érosion et entraînement de matières (ST-B-1-2)	
BG-B-2 Les enjeux de la gestion des sols	
Des processus biologiques ayant lieu dans les sols réalisent des fonctions dont l'humanité tire bénéfice, on parle de services écosystémiques. Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, parmi lesquels des services d'approvisionnement (fertilité et support de la production alimentaire) et de régulation liée au climat (stockage de carbone). Les pratiques agricoles ont un impact sur les sols et sur les services écosystémiques qu'ils délivrent. Par ailleurs, d'autres activités humaines conduisent à l'artificialisation des sols et à la perte des services écosystémiques rendus par les sols.	- Interpréter des données permettant de quantifier les services écosystémiques rendus par les sols. - Discuter à partir de documents fournis et/ou de mesures des impacts d'une pratique agricole, le labour, sur le sol et les services écosystémiques rendus par les sols (fertilité du sol et support de la production alimentaire, impact sur la biodiversité du sol, érosion et stockage de carbone). - Quantifier l'évolution de la surface des sols artificialisés autour d'une région urbaine.
Précisions et limites *:* *Les services écosystémiques choisis comme exemples sont réutilisés pour illustrer leurs perturbations par les activités humaines dans la partie écologie de seconde année.*	
Liens : Fonctionnement des écosystèmes (SV-H-2) Eutrophisation des écosystèmes (BG-A-3) Géographie : environnement et milieu.	

BG-C Le climat de la Terre (TB 2)

La compréhension du fonctionnement du système climatique nécessite une première approche des échanges d'énergie au sein des enveloppes externes de la Terre. Cette partie permet d'appréhender ensuite l'importance des circulations atmosphérique et océanique dans la redistribution de l'énergie à la surface du globe, permettant de définir aussi les régions climatiques terrestres.

Les climats du passé sont ensuite abordés en mettant en exergue les méthodes qui permettent de les reconstituer en s'appuyant sur les variations climatiques du quaternaire. La suite de cette partie aborde ensuite le changement climatique en cours, notamment en termes d'augmentation des températures de surface, liés à l'activité humaine, en lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Elle s'appuie sur la variété des observations concordantes qui permettent d'établir des scénarios probables pour l'évolution future du climat de notre planète. Les effets de ces changements climatiques sur la biodiversité sont enfin appréhendés en lien avec la température et la disponibilité en eau pour les êtres vivants.

Savoirs visés	**Capacités exigibles**
BG-C-1 Les enveloppes fluides de la Terre : composition et organisation	
L'atmosphère et l'hydrosphère forment les enveloppes fluides de la Terre. Elles présentent une structuration verticale dépendant de la densité. Certains gaz de l'atmosphère terrestre contribuent à un effet de serre naturel.	- Identifier les caractéristiques des différentes couches de l'atmosphère et de l'hydrosphère. - Exploiter des données révélant la stratification des enveloppes fluides et les relier à des variations de densité. - Expliquer à l'aide d'exemple que la densité des enveloppes fluides est liée à la température et/ou à la composition chimique des fluides considérées.
Liens : Physique-chimie : relier la dissolution du dioxyde de carbone en solution aqueuse aux effets associés (physiologie, environnement) (TB1).	
BG-C-2 Les circulations des enveloppes fluides de la Terre	
L'inégale répartition de l'énergie solaire reçue par la Terre conduit à une redistribution principalement latitudinale de l'énergie solaire incidente par les mouvements de l'atmosphère et de l'océan. La circulation de l'atmosphère repose sur l'existence des cellules de convection. On distingue pour l'atmosphère, principalement une circulation aux latitudes tropicales et une circulation aux latitudes tempérées. La circulation de surface de l'océan est étroitement couplée au régime des vents et aux gradients thermiques dans l'océan. La circulation générale de l'océan se caractérise par une circulation méridienne de retournement. Elle résulte, en dehors de l'action des vents de surface, des variations de densité de l'eau de mer liées à sa température et à sa salinité. Les circulations atmosphériques et océaniques déterminent les climats terrestres, un climat étant défini par les caractéristiques de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période de 30 ans.	- Exploiter les données montrant le bilan entre énergie reçue et énergie émise aux différentes latitudes. - Identifier les parts respectives de l'océan et de l'atmosphère dans la redistribution de l'énergie à la surface de la Terre. - Présenter et exploiter un schéma général de la circulation atmosphérique - Présenter et exploiter un schéma général de la circulation océanique, et ses conséquences sur le cycle du carbone. - Relier, à grande échelle, la distribution des températures de surface et des précipitations aux grands biomes.
Précisions et limites : *La circulation atmosphérique s'appuie sur l'étude :* *- aux latitudes tropicales : des cellules de Hadley (et leur extension) ;* *- aux latitudes tempérées : des cellules de Ferrel, des anticyclones.* *La formalisation mathématique des mécanismes de la circulation océanique ou atmosphérique n'est pas attendue.*	
Liens : Carbone et azote atmosphérique dans l'effet de serre (BG-A-1 et BG-A-2).	

BG-C-3 Climat et variabilité climatique

BG-C-3- 1 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps

Des archives géologiques et géochimiques permettent de reconstituer des variations passées du climat. Les variations de la teneur en CO_2 et CH_4 et la température sont interdépendantes et mettent en jeu des processus diversifiés : effet de serre, capture/relargage de CO_2 par des réservoirs. Les variations climatiques sont conditionnées par des facteurs multiples (paramètres orbitaux, teneur de l'atmosphère en gaz à effets de serre, albédo de la surface terrestre) et des rétroactions positives ou négatives entre ces paramètres.	- Présenter des archives géologiques témoins des climats passés : dépôts glaciaires, fossiles continentaux, etc. - Mettre en relation la composition isotopique en ^{18}O des glaces des inlandsis et les périodes glaciaires et inter-glaciaires. - Mettre en relation les paléotempératures et la teneur en CO_2 atmosphérique. - Observer la rythmicité des périodes glaciaires et interglaciaires et la relier aux paramètres orbitaux de la Terre. - Identifier les effets de rétroactions de l'albédo et de l'effet de serre sur l'évolution climatique.

Précisions et limites *: Cette partie se limite à l'étude des variations climatiques du dernier million d'années. L'étude des compositions isotopiques ne porte que sur les glaces continentales et est utilisée comme un paléothermomètre. La compréhension des mécanismes de fractionnement isotopique n'est pas attendue. La connaissance exhaustive des paramètres orbitaux n'est pas exigible.*

Liens :
Cycle du carbone (BG-A-1)

BG-C-3- 2 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

Projections climatiques et réchauffement actuel

Le réchauffement climatique observé est attribué à l'augmentation des GES liée à l'activité humaine et la modification de l'usage des terres. Les projections climatiques montrent que l'amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.	- Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.

Quelques impacts du changement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité. Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés. Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations. Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent. Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.	- Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces. - Exploiter des données montrant des adaptations au changement climatique à l'échelle : • des organismes (adaptations physiologiques) ; • des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition) ; • des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).

Précisions et limites :
On s'intéresse dans cette partie au paramètre « augmentation de température » du changement climatique, parmi de nombreux autres changements, dont une modification des régimes de précipitations et de la fréquence et de l'intensité des évènements météorologiques extrêmes.
Cette partie est l'occasion de montrer comment se construisent des savoirs scientifiques, en intégrant les incertitudes sur les données et sur les modèles. L'incertitude est un degré de connaissance incomplète, elle peut être représentée par des mesures quantitatives (probabilités) ou qualitatives (dire d'experts) ce qui est fait dans les travaux du GIEC.

Concernant les scénarios d'évolution climatique, il s'agit ici essentiellement de rappel de lycées. Les nouveaux concepts concernent la description des différents types d'incertitude. *Concernant l'évolution de la biosphère, on prendra un nombre limité d'exemples d'impacts du changement climatique.*
Liens : Effet des paramètres abiotiques sur la dynamique des populations (SV-H-1) Modifications du biotope et incidence sur la dynamique des écosystèmes (SV-H-2-4) Notion d'adaptation évolutive (SV-I-1) Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2) Activités anthropiques et gestion des sols (BG-B-2)

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

	TB 1	**TB 2**
BG-A Les grands cycles biogéochimiques		1 séance « cycles biogéochimiques »
BG-B Les sols	3 séances • 1 séance « organisation fonctionnelle des sols » • 1 séance « formation et dynamique des sols » • 1 séance « biodiversité du sol et services écosystémiques rendus par les sols »	
BG-C Le climat de la Terre		3 séances • 2 séances « système climatique et reconstitution paléoclimatique » • 1 séance « changement climatique et biodiversité »
Total	**3 séances**	**4 séances**

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.

ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine (TB 1)

Cette partie a vocation à introduire les sciences de la Terre en utilisant deux approches complémentaires : pétrographique et cartographique. Elle permet de fournir quelques points de repères dans la géologie métropolitaine. Les grands ensembles géologiques de la France métropolitaine sont définis à partir de la nature des roches, de leur âge et des structures tectoniques.

Savoirs visés	Capacités exigibles
La carte géologique est une représentation de la nature, de l'âge et de la géométrie des roches en surface. Résultant de l'exploitation et de l'interprétation de diverses données, elle représente un modèle de l'état des connaissances au moment de sa réalisation. L'observation de la carte géologique et la lecture de sa légende permettent de visualiser et de définir les grands ensembles géologiques : massifs anciens, massifs récents et bassins sédimentaires.	- Identifier l'organisation spatiale et l'âge des principaux ensembles géologiques de la carte de France au 1/1.000.000. - Relier ces ensembles géologiques à des grands types de roches (sédimentaires, magmatiques et métamorphiques) et à des structures tectoniques, de type faille et chevauchement. - Identifier un granite, un basalte, un gneiss, une roche sédimentaire carbonatée et une roche sédimentaire détritique.

Précisions et limites :
L'identification des roches se limitera à leur analyse macroscopique, où l'élève doit savoir identifier les minéraux suivants : quartz, feldspaths, micas noirs et blancs. La distinction des textures grenue et microlithique est attendue pour les roches magmatiques. Pour le gneiss, on se limite à l'identification d'une texture grenue et de la foliation. L'étude microscopique n'est pas exigible.
Les activités de terrain pourront être l'occasion de confronter la réalité des observations aux informations apportées par la carte géologique.
Les aspects temporels sont limités à l'utilisation de l'échelle chronostratigraphique disponible dans la légende de la carte au 1/1.000.000, dont seul le découpage en ères est exigible.

Liens :
Le phénomène sédimentaire (ST-B)
Activités de terrain

ST-B Le phénomène sédimentaire (TB1)

Dans cette partie, l'étude des roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre, souligne le rôle fondamental de l'eau dans le phénomène sédimentaire. Depuis la phase primordiale d'altération et d'érosion de roches préexistantes, les produits formés, solubles et/ou solides, sont transportés jusqu'à leur milieu de sédimentation au sein d'un bassin sédimentaire. La diversité des processus d'altération, de transport et de sédimentation explique la diversité des sédiments qui évolueront via la diagénèse en roches sédimentaires, essentiellement sous l'effet de la compaction et de la cimentation. Le phénomène sédimentaire est intimement lié à l'activité biologique. Les archives sédimentaires donnent accès à des informations utiles à la reconstitution historique et paléoenvironnementale.

Savoirs visés	Capacités exigibles
ST-B-1 Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface	
ST-B-1-1 Les facteurs d'altération	
Les matériaux en surface sont soumis à de multiples processus d'altération, qui engendrent des formations résiduelles, et d'érosion, avec en particulier l'entrainement de produits par les eaux. La diversité des modelés des paysages est liée à l'action relative de différents facteurs : des facteurs	- Analyser le modelé d'un paysage à partir de documents photographiques. - Identifier les principaux processus d'altération et d'érosion déterminant l'évolution d'un paysage. - Proposer des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs structuraux, lithologiques et climatiques dans l'évolution du paysage.

intrinsèques (lithologie, relief) et des facteurs externes (climat, végétation). Les principaux processus d'altération chimique par l'eau sont l'hydrolyse et la dissolution. L'altérabilité des silicates est due à la structure des cristaux et à la nature des ions présents dans le réseau cristallin qui interagissent avec les molécules d'eau. L'hydrolyse des silicates conduit à la formation d'argiles dont la nature est en relation avec l'intensité de l'altération, qui elle-même dépend du climat. Les produits de l'altération sont différemment mobilisables, en particulier en fonction de leur solubilité.	- Caractériser le phénomène d'altération à partir de données de l'échelle du paysage à celle du minéral (sur l'exemple du granite). - Relier la diversité des produits d'altération aux conditions d'altération (climat et végétation). - Utiliser le diagramme de Goldschmidt afin de distinguer les éléments lessivés et les produits insolubles. - Analyser l'altération des roches carbonatées en s'appuyant sur l'équilibre des carbonates et ses facteurs de contrôle. - Interpréter la présence éventuelle d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium (latéritisation) dans les formations résiduelles (exemple des bauxites). - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée des bauxites.
Précisions et limites : *Dans toute la partie ST-B, des supports cartographiques variés sont exploitables, mais uniquement pour le repérage des formations sédimentaires. Le raisonnement est construit sur un ou des exemples au choix qui peuvent être pris localement.* *Sont à connaître, quelques facteurs de surface (altitudes, relief et pentes, végétation) et quelques facteurs climatiques (température, précipitations). La connaissance des argiles produites par l'altération et leur classification ne sont pas exigibles.*	
Liens : Le cycle du carbone (BG-A-1) Les sols (BG-B) Le climat de la Terre (BG-C) Les ressources géologiques (ST-B-3) Activités de terrain Géographie : analyse d'un paysage	
ST-B-1-2 Érosion et entraînement de matière	
En surface des continents, l'érosion se traduit par des flux de matières en solution (solutés) ou en suspension (particules). Ce flux conduit à un tri minéralogique et chimique qui préfigure la formation de nouveaux matériaux.	- Expliquer le comportement des particules détritiques en fonction de la vitesse du courant et de leur granulométrie par le diagramme de Hjulström.
Précisions et limites : *Ce point correspond à la phase de transport des produits d'altération. On ne traite pas de l'impact des activités humaines sur les transferts de surface.* *L'étude des sols est développée en TB1. À cette occasion, sont remobilisés les acquis sur les processus d'altération participant à la formation des sols.*	
Liens : Les sols (BG-B) Le climat de la Terre (BG-C) Activités de terrain	
ST-B-2 La sédimentation des particules et des solutés	
Les dépôts de particules en suspension (sédiments détritiques) sont liés aux conditions hydrodynamiques des milieux et se produisent dans des environnements variés.	- Exploiter une carte montrant des formations superficielles (moraines, formations fluviatiles, …). - À partir de données d'imagerie et/ou cartographiques, relier la distribution de dépôts détritiques, au niveau d'un delta et d'un estuaire et la dynamique de l'hydrosphère. - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : conglomérats, grès, argilites, marnes.
Précisions et limites : *La structure tripartite (plaine deltaïque, front de delta, prodelta) des deltas n'est pas exigible : seuls les mécanismes à l'origine de leur dynamique (origine et dépôt des particules en fonction de l'hydrodynamisme) sont à connaître.*	

La sédimentation des solutés est précédée d'une bioprécipitation ou d'une précipitation chimique. La sédimentation carbonatée résulte pour l'essentiel de l'activité d'êtres vivants : organismes produisant des tests et des coquilles ou bactéries provoquant des précipitations. Elle se produit surtout en domaine marin de plateforme et caractérise aussi les environnements récifaux. La sédimentation carbonatée pélagique est le fait de micro-organismes planctoniques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés). Les dépôts ne s'observent pas au-delà d'une certaine profondeur, qui définit la profondeur de compensation des carbonates (PCC) variable d'une zone océanique à une autre. La diagénèse transforme le sédiment en roche. La silice dissoute dans l'eau de mer peut être utilisée par des micro-organismes planctoniques (Radiolaires, Diatomées) pour leurs tests, ce qui alimente la sédimentation de boues siliceuses, non limitée par la profondeur et inégalement distribuée. La matière organique peut être conservée et transformée en roches carbonées. La précipitation de solutés en domaine lagunaire ou littoral, peut engendrer des évaporites (gypse-anhydrite, halite, sylvite) par concentration des solutions.	- Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : calcaires, marnes. - Identifier l'origine et les facteurs de contrôle de la sédimentation carbonatée et siliceuse à partir de l'étude de la sédimentation pélagique (en se limitant à la lysocline et à la PCC de la calcite). - Discuter l'effet des différents facteurs (température, pH, êtres vivants, profondeur, teneur en CO_2 atmosphérique) sur l'équilibre de précipitation/dissolution des carbonates - Décrire et interpréter la répartition des sédiments océaniques actuels à l'aide d'un planisphère. - Identifier la contribution des micro-organismes dans la genèse et la diversité des productions carbonatées pélagiques (Foraminifères planctoniques, Coccolithophoridés) et siliceuses pélagiques (Diatomées, Radiolaires). - Établir les conditions de préservation de la matière organique dans un sédiment (accumulation rapide, anoxie, enfouissement dans le sédiment océanique). - Relier la localisation et les caractères d'une séquence évaporitique avec les conditions chimiques de précipitation de sels. - Identifier macroscopiquement et de manière raisonnée diverses roches : halite, gypse-anhydrite. - Reconstituer un paléoenvironnement à partir de données sédimentaires.
Précisions et limites : *On citera au moins un exemple de calcaire biogénique.* *Pour la diagenèse, on se limitera à celle d'une roche carbonatée et à la compaction du sédiment et à la perte d'eau.*	
Liens : Climat et variabilité climatique (BG-C-3) Grands ensembles géologiques de France métropolitaine (ST-A) Les ressources géologiques (ST-B-3) Activités de terrain Biotechnologies : cycle de Calvin et équilibre des carbonates ; (3.2.3) écologie microbienne (3.2.4.**)**	
ST-B-3 Ressources géologiques d'origine sédimentaire	
Le processus sédimentaire induit le tri mécanique et/ou géochimique d'éléments. Ceux-ci peuvent être concentrés et constituer des ressources, qui peuvent être exploitées. L'inégale répartition des ressources résulte d'une histoire géologique locale. Cette inégale répartition induit une adaptation de l'activité humaine aux conditions locales et à l'organisation de nombreux échanges planétaires.	- Remobiliser les mécanismes de l'altération/sédimentation pour expliquer les mécanismes de formation d'une ressource. - Identifier des ressources géologiques sédimentaires lors d'une étude documentaire et/ou des activités de terrain - Distinguer les problématiques (prospection, extraction, transport...) associées à une ressource locale et à une ressource plus rare, nécessairement importée.
Précisions et limites *:* *Cette partie permet de présenter la notion de ressources et est l'occasion de montrer l'importance de mobiliser les connaissances des sciences de la Terre pour l'exploitation raisonnée des ressources géologiques.* *Le nombre d'exemples, restreints à des ressources sédimentaires, est limité et aucun détail de leur utilisation n'est à mémoriser.* *En ce qui concerne les roches sédimentaires, on montre la variété de leur utilisation industrielle, leur intérêt en tant que roches réservoirs d'hydrocarbures et leur rôle potentiel pour stocker le CO_2.*	
Liens : Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface (ST-B-1) La sédimentation des particules et des solutés (ST-B-2) Activités de terrain	

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

	TB 1	TB 2
ST-A Grands ensembles géologiques de la France métropolitaine	2 séances « Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au 1/1.000.000 et les grands types de roches »	
ST-B Le phénomène sédimentaire	2 séances • 1 séance « altération en milieu continental, érosion et transport » • 1 séance « diversité des roches sédimentaires – relation avec les ressources géologiques »	
Total	**4 séances**	**0 séance**

Les compétences de la démarche scientifique sont également développées au cours d'activités de terrain.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION

Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voie Technologie et biologie (TB)

Annexe 4

Programmes de biotechnologies

1ère et 2nde années

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION
Liberté
Égalité
Fraternité

Classe préparatoire

Technologie et biologie (TB)

PROGRAMME DE BIOTECHNOLOGIES

PRÉAMBULE COMMUN AUX PROGRAMMES DE BIOTECHNOLOGIES ET DE SVT

La mise en œuvre des programmes de Biotechnologies et de sciences de la vie et de la Terre (SVT) doit permettre aux futurs ingénieurs, vétérinaires, chercheurs et enseignants de se constituer une culture scientifique et technologique solide dans le domaine des sciences du vivant et aux interfaces avec les sciences de la Terre.

Ces programmes, avec ceux des autres disciplines scientifiques, visent à développer chez les étudiants « la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée » (Commission des Titres d'Ingénieur). Les connaissances et les compétences travaillées au lycée sont nécessairement approfondies et développées en classe préparatoire, afin d'élaborer un panorama scientifique et technologique actualisé et de permettre ensuite un développement plus spécialisé, en rapport avec la formation choisie en école. Pour cela, ces deux programmes ont été élaborés par des groupes de travail intégrant des professeurs des écoles nationales vétérinaires, écoles d'ingénieurs et écoles normales supérieures aux côtés d'enseignants des classes concernées. Ils sont destinés aux professeurs de TB et à leurs étudiants, mais également aux professeurs de lycée, comme aux interrogateurs de concours et aux enseignants des écoles.

À l'issue de la formation, les étudiants issus de TB disposent des bases scientifiques et technologiques solides dans tous les champs nécessaires pour répondre aux enjeux-clefs du XXI^{e} siècle : changement climatique, préservation de la biodiversité et des écosystèmes, alimentation de qualité pour tous, santé dans une logique *One Health*, gestion des ressources naturelles, gestion durable des sols, transition énergétique, bioéthique, etc.

Les enseignements de Biotechnologies et de SVT sont complémentaires dans l'étude d'objets et de phénomènes communs. Les liens entre ces deux programmes sont nombreux. Afin de donner du sens aux apprentissages et de construire une progression conceptuelle cohérente, une coordination est indispensable entre les enseignants de Biochimie - Génie Biologique (BGB) et de SVT au service de la compréhension des concepts par les étudiants. Il est en effet essentiel d'aider les étudiants à articuler les apports des deux disciplines et de ne pas laisser à leur charge la mise en cohérence des savoirs construits en Biotechnologies et en SVT. Le programme a été élaboré pour faciliter le repérage de la complémentarité des enseignements et les liens sont précisés pour chaque thème d'étude au sein des programmes de Biotechnologies et de SVT. Des phénomènes biologiques sont étudiés conjointement mais avec des regards différents, comme l'illustrent les quatre exemples suivants, parmi de nombreux liens existants.

• **Le métabolisme** est étudié dans ses processus biochimiques à l'échelle cellulaire et moléculaire en Biotechnologies. La compréhension fondamentale de ces mécanismes est mise au service d'applications biotechnologiques comme l'identification bactérienne, le choix de milieux de culture et le génie fermentaire. En SVT, le métabolisme est envisagé dans un cadre physiologique. Il s'agit alors, à partir du bilan global des voies métaboliques étudiées en amont en Biotechnologies ou approfondies en aval, de comprendre notamment l'importance du stockage de molécules de réserve et de leur mobilisation dans le fonctionnement de la plante à différentes échelles temporelles ainsi que dans le fonctionnement de la cellule musculaire.

• **En génétique**, les Biotechnologies se focalisent sur le modèle bactérien dans une visée technologique : amplification génique, hybridation moléculaire, séquençage et génie génétique. Les SVT envisagent le modèle eucaryote, afin de comprendre l'expression, le maintien et la diversification

génétique et afin de remobiliser ces concepts dans plusieurs thèmes de SVT tels que le développement des animaux et des plantes ou l'évolution biologique.

• **Les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote** sont étudiés en Biotechnologies sous l'angle du rôle des microorganismes et des processus métaboliques responsables des flux de carbone ou d'azote d'origine biologique. Les SVT traitent quant à elles la dimension systémique des cycles en intégrant les différents réservoirs et les flux d'origine géologique afin d'appréhender les différentes échelles spatiales et temporelles ainsi que la place des actions anthropiques dans la modification des cycles.

• **La systématique des microorganismes** est étudiée de façon complémentaire par les deux disciplines. Les Biotechnologies permettent d'identifier les différents types de microorganismes à l'aide de la classification alors que les SVT les positionnent dans l'arbre du vivant et élaborent des scénarios évolutifs sur la base d'analyses phylogénétiques.

Ces différences d'approche et de points de vue visent à favoriser le développement conceptuel ainsi que l'appropriation des finalités propres à chaque discipline et à éviter toute dissonance préjudiciable à la compréhension des étudiants.

La contribution des Biotechnologies et des SVT au développement de compétences

• Compétences scientifiques et technologiques

Les Biotechnologies et les SVT contribuent au développement de compétences scientifiques et technologiques. Des formes d'enseignement interdisciplinaire pratique mis en œuvre au laboratoire dans le cadre de travaux pratiques, et sur le terrain, permettent aux étudiants de mobiliser des compétences spécifiques aux deux disciplines au service de la résolution de problématique sur des objets scientifiques communs. Chaque équipe pédagogique définit les activités permettant aux étudiants de développer ces compétences, chaque fois que possible par une approche interdisciplinaire. Les compétences disciplinaires spécifiques, scientifiques et technologiques, sont présentées dans chaque programme.

Les Biotechnologies et les SVT contribuent avec les autres enseignements de TB au développement de compétences transversales, linguistiques et préprofessionnelles.

• Compétences transversales et linguistiques

Le développement de compétences transversales et linguistiques atteste d'une autonomie de travail et d'analyse, d'une capacité d'engagement dans des projets collectifs, d'une capacité de distance critique et d'une communication aisée, que ce soit par les outils mobilisés ou l'expression personnelle en français et dans au moins une langue vivante étrangère.

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

• Compétences préprofessionnelles

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

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

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

PRÉAMBULE SPÉCIFIQUE AU PROGRAMME DE BIOTECHNOLOGIES

Les différents domaines des biotechnologies utilisent des éléments du vivant pour produire des biens et des services. Les modalités didactiques et pédagogiques en enseignement de biotechnologies combinent approches scientifiques fondamentales et activités technologiques en laboratoire ; elles permettent ainsi l'acquisition de concepts scientifiques et de concepts technologiques. Ils ont été sélectionnés pour répondre aux attendus des grandes écoles, et sont indispensables pour s'approprier les problématiques et agir dans les différents domaines des biotechnologies. Abordant les domaines de la biochimie, de l'enzymologie, de la microbiologie, de la biologie moléculaire, de la microbiologie et du génie fermentaire, de l'ingénierie des protéines et du génie génétique, ils sont complémentaires de ceux visés par l'enseignement de SVT.

Objectifs de formation et structure du programme

Le programme de Biotechnologies est constitué de quatre parties thématiques et d'une cinquième partie « compétences expérimentales technologiques ».

Les concepts transversaux de biotechnologies, explicités dans la partie « compétences expérimentales technologiques » et se rapportant aux quatre parties thématiques, font partie intégrante des objectifs de formation et des attendus du programme. Ces compétences dépassent l'aspect technique et intègrent une dimension d'amélioration, de transposition, d'optimisation voire de conception d'une procédure opératoire afin de viser une formation adaptée à la préparation aux écoles et formations du supérieur.

Chaque partie est structurée en deux colonnes qui présentent, en regard, les concepts mobilisés dans la colonne de gauche et les compétences attendues dans la colonne de droite. Pour faciliter la construction du plan de formation, le programme propose en second lieu des activités expérimentales support de la formation, des limites et commentaires, ainsi que des liens entre les différentes parties et avec les autres enseignements scientifiques.

Les savoirs et les compétences acquis au cours de la formation doivent permettre à l'étudiant, futur ingénieur, chercheur, enseignant ou vétérinaire, de développer ses capacités de synthèse. D'autre part, l'esprit critique doit s'exercer pour permettre le recul nécessaire sur les technologies qui entrainent des modifications du vivant. Une réflexion éthique, menée à partir de documents d'actualité évoquant l'impact des biotechnologies sur la santé et sur l'environnement conduit à développer des arguments pour répondre aux questions sociétales.

Les compétences argumentatives sont également développées, à partir d'une réflexion portant sur des objets d'étude scientifique ou technologique, inédits pour l'étudiant. L'analyse de nouvelles informations est alors à confronter avec un modèle connu et cette application du modèle sur l'objet permet de vérifier la compréhension des éléments du modèle.

Place des activités expérimentales dans la formation

Les compétences expérimentales technologiques visées seront mises en œuvre tout au long de la formation et intégrées à chacune des parties thématiques selon le plan de formation élaboré par l'enseignant.

Les biotechnologies étant fondées sur la pratique expérimentale au laboratoire, les analyses, calculs et déterminations de grandeurs se font à partir de l'exploitation de données expérimentales, obtenues par l'étudiant lors d'activités technologiques support de la formation, ou issues de la littérature scientifique.

Les activités expérimentales support de la formation apparaissent à la fin de chaque sous-partie thématique. Ces activités expérimentales proposées sont indispensables pour construire les compétences attendues. Il ne s'agit pas de faire une présentation exhaustive des techniques étudiées

mais de permettre aux étudiants de faire des liens entre les différentes parties et de prendre du recul vis-à-vis des technologies présentées. Elles permettent à la fois de faciliter l'acquisition des concepts et de développer les compétences expérimentales.

Les biotechnologies reposant sur une mise en œuvre expérimentale, la démarche de prévention des risques est totalement intégrée à l'enseignement des biotechnologies dans tous ses aspects, quelle que soit la thématique étudiée. Cette démarche présentée dans la partie « compétences expérimentales technologiques », est mise en œuvre systématiquement tout au long de la formation des étudiants.

Articulation des parties et liens avec les autres enseignements scientifiques

Les interactions entre les différentes parties se traduisent par des liens internes au programme de Biotechnologies, qui permettent à plusieurs reprises de réinvestir les concepts et de renforcer les compétences visées par la formation. Ce réinvestissement est au cœur de l'approche par compétences, afin que les savoirs soient réellement opérationnels. Les concepts doivent donc être mobilisés dans des situations de complexité croissante pour développer des compétences transférables à des situations inédites. Ces concepts sont construits à l'aide d'exemples issus des biotechnologies, choisis par l'enseignant responsable de la formation. Si plusieurs exemples peuvent être nécessaires pour la construction des savoirs, il importe d'en limiter le nombre. L'étudiant pourra choisir l'exemple qu'il souhaite présenter pour éclairer ou illustrer un concept dont il veut montrer la maitrise.

Les liens externes, avec la SVT, la physique-chimie, et les mathématiques sont également indiqués dans la partie « liens » à la fin de chaque sous-partie.

RÉPARTITION SUR LES DEUX ANNÉES	TB 1	TB 2
PARTIE 1 – BIOCHIMIE DES PROTÉINES ET PROCÉDÉS DE PURIFICATION		
1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
1.1.1. Structure des protéines	X	
1.1.2. Du matériel biologique à l'extrait protéique purifié	X	
1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER		
1.2.1. Suivi qualitatif	X	
1.2.2. Suivi quantitatif	X	X
1.2.3. Caractérisation structurale de la protéine purifiée	X	
1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS		
1.3.1. Interactions protéine-ligand		X
1.3.2. Interactions antigène-anticorps		X
PARTIE 2 – ENZYMOLOGIE ET GÉNIE ENZYMATIQUE		
2.1. LES BIOMOLÉCULES, DES SUBSTRATS D'INTÉRÊT		
2.1.1. Glucides	X	
2.1.2. Lipides	X	
2.1.3. Protides	X	
2.1.4. Acides nucléiques	X	
2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE		
2.2.1. Catalyse enzymatique	X	
2.2.2. Cinétique à un substrat des enzymes michaeliennes	X	
2.2.3. Activité enzymatique des enzymes michaeliennes		X
2.2.4. Modulation de l'activité enzymatique des enzymes michaeliennes	X	
2.2.5. Cinétique des enzymes allostériques		X
2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES		
2.3.1. Des enzymes pour analyser		X

2.3.2. Des enzymes pour produire		X
PARTIE 3 – MICROBIOLOGIE ET GÉNIE FERMENTAIRE		
3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ		
3.1.1. Unité du monde microbien	X	
3.1.2. Diversité des microorganismes	X	X
3.1.3. Virus		X
3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE		
3.2.1. Métabolisme énergétique	X	
3.2.2. Microorganismes chimiotrophes	X	
3.2.3. Microorganismes phototrophes autotrophes	X	
3.2.4. Écologie microbienne		X
3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES		
3.3.1. Nutrition et culture des microorganismes	X	
3.3.2. Quantification des microorganismes	X	
3.3.3. Croissance des microorganismes	X	
3.3.4. Cultures en bioréacteur		X
3.3.5. Choix et sélection des souches d'intérêt		X
PARTIE 4 – BIOLOGIE MOLÉCULAIRE DES ACIDES NUCLÉIQUES ET GÉNIE GÉNÉTIQUE		
4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
4.1.1. Structure des acides nucléiques	X	
4.1.2. Du matériel biologique à l'extrait nucléique purifié	X	
4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES		
4.2.1. Hybridation		X
4.2.2. Applications de l'hybridation		X
4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE		
4.3.1. PCR en point final		X
4.3.2. Contrôle de l'amplification		X
4.3.3. Techniques avancées de PCR		X
4.4. LE SÉQUENÇAGE DE L'ADN, DES TECHNIQUES EN CONSTANTE ÉVOLUTION		
4.4.1. Évolution des techniques de séquençage de l'ADN		X
4.4.2. Applications du séquençage de l'ADN		X
4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE		
4.5.1. Clonage d'une séquence nucléotidique		X
4.5.2. Expression hétérologue de protéines recombinées chez les microorganismes		X
4.5.3. « Édition » du génome		X
PARTIE 5 – COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES TECHNOLOGIQUES		
5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE	X	X
5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES	X	X
5.5. OBSERVATION, DESCRIPTION ET CARACTÉRISATION D'UN OBJET	X	X
5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES	X	X
5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES	X	X
5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE	X	X
5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES	X	X

PARTIE 1 – BIOCHIMIE DES PROTÉINES ET PROCÉDÉS DE PURIFICATION

Les protéines sont des molécules de première importance dans le monde vivant ; de nombreuses applications des biotechnologies sont fondées sur les interactions spécifiques qui s'établissent entre protéines ou entre protéine et ligand, notamment les interactions antigène-anticorps.

L'étude structurale et fonctionnelle des protéines, d'une part, et leur utilisation en tant qu'outil biotechnologique, d'autre part, nécessitent leur extraction et leur purification à partir d'un matériel biologique. Les méthodes permettant l'obtention d'un extrait protéique purifié ont pour fondement la structure et les propriétés physico-chimiques des protéines.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
1.1.1. STRUCTURE DES PROTÉINES Les protéines sont des polymères d'acides α-aminés. Les chaînes latérales des acides aminés protéinogènes présentent des propriétés physico-chimiques variées. ● Fonction α-carboxylique / fonction α-amine ● Chaîne latérale ● pKa ● Liaison peptidique ● Structure primaire ● Séquence ● Polymère ● Molécule orientée ● Extrémité N-terminale / extrémité C-terminale	► Représenter la structure générique d'un acide α-aminé. ► Classer les acides aminés selon la polarité de leur chaîne latérale, leurs propriétés acido-basiques, leurs propriétés spectrales d'absorption. ► Écrire l'équation de la réaction modélisant la formation de la liaison peptidique. ► Présenter la géométrie de la liaison peptidique, ainsi que les propriétés associées.	TB1
Les différents niveaux de structure des protéines sont déterminés par les propriétés de la liaison peptidique, du squelette carboné et des chaînes latérales des résidus d'acides aminés. Certaines protéines contiennent des groupements non protidiques. ● Interactions ou liaisons de faible énergie ● Pont disulfure ● Encombrement stérique ● Structure secondaire / tertiaire / quaternaire ● Domaine ● Protomère (sous-unité) ● Conformation native ● Repliement ● Dynamique conformationnelle ● Holoprotéine / hétéroprotéine ● Apoprotéine ● Groupement prosthétique	► Caractériser chaque niveau de structure en lien avec les liaisons ou interactions stabilisatrices. ► Présenter le principe d'une technique de séquençage de protéine, à l'aide d'une documentation.	

Les protéines sont organisées en trois catégories structurales, avec des conséquences sur leur localisation et leur extraction. ● Scléroprotéines (protéines fibreuses) ● Protéines globulaires ● Protéines membranaires	► Dégager les particularités structurales et biochimiques d'une protéine fibreuse (fibrillaire) et d'une protéine membranaire à l'aide d'une documentation. ► Analyser la répartition des acides aminés polaires et apolaires dans des protéines ayant différentes localisations cellulaires.	
Le maintien de la structure native des protéines dépend des conditions physico-chimiques et de la présence de protéases. ● Conformation native ● Dénaturation ● Hydrolyse	► Distinguer dénaturation et hydrolyse des protéines. ► Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse de la liaison peptidique. ► Énoncer le mode d'action de quelques agents dénaturants : chaleur, pH extrêmes, agents chaotropiques, agents réducteurs, détergents. ► Expliquer comment mettre en œuvre expérimentalement une cinétique de dénaturation.	
1.1.2. DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE À L'EXTRAIT PROTÉIQUE PURIFIÉ Les étapes d'extraction des protéines aboutissent à l'obtention d'un extrait brut. Le choix d'une méthode d'extraction dépend de l'environnement dans lequel se trouve la protéine d'intérêt. ● Lyse ● Matériel biologique ● Tampon d'extraction ● Centrifugation	► Argumenter le choix d'une méthode d'extraction et des conditions opératoires à partir de l'analyse de la procédure, des caractéristiques structurales et/ou physico-chimiques, et de la localisation de la protéine d'intérêt. ► Identifier, dans une procédure opératoire, les précautions à prendre lors de l'extraction afin de préserver la structure native de la protéine d'intérêt.	TB1
Les étapes de purification d'une protéine d'intérêt se basent sur les propriétés particulières de celle-ci par rapport aux autres solutés. Elles font appel à différentes techniques : précipitations différentielles, chromatographies, dialyse, ultrafiltration. ● Solubilisation / précipitation ● Force ionique / température / pH ● Phase stationnaire / phase mobile ● Domaine de fractionnement ● Capacité d'une colonne ● Interactions biospécifiques	► Exploiter les propriétés des protéines et les liaisons de faible énergie pour expliquer le principe d'une méthode de séparation des protéines. ► Argumenter le choix d'une méthode de	

● Membrane semi-perméable ● Seuil de coupure	purification et des conditions opératoires à partir de l'analyse de la procédure et des caractéristiques structurales et/ou physico-chimiques de la protéine d'intérêt. ► Proposer l'allure du chromatogramme attendu lors d'une séparation chromatographique en identifiant les fractions d'intérêt. ► Analyser un chromatogramme.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Analyse de la structure d'une protéine grâce à un logiciel de visualisation de structure 3D.
- Extraction et purification d'une protéine.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Le concept de protéine intrinsèquement désordonnée est à présenter.

Seule la formule du groupe fonctionnel caractéristique des chaînes latérales de chaque acide aminé est à connaitre en lien avec leurs propriétés.

Les méthodes chromatographiques dont les principes sont à maîtriser se limitent à :

- chromatographie d'exclusion ;
- chromatographie échangeuse d'ions ;
- chromatographie d'interaction hydrophobe ;
- chromatographie d'affinité biospécifique ;
- chromatographie de chélation.

La présentation des techniques HPLC est limitée à l'intérêt de leurs performances résolutives.

L'étude la spectrométrie de masse est limitée à son utilisation dans le cadre du séquençage des protéines et de l'identification des microorganismes. Son principe n'est pas attendu.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **1.1.1.** : propriétés des acides aminés, structures tridimensionnelles des protéines
    ⇔ **2.2.1. - 2.2.4.** : catalyse enzymatique, modulation de l'activité enzymatique
  - **1.1.1.** : liaison peptidique, hydrolyse des protéines
    ⇔ **2.1.3.** : hydrolyse de la liaison peptidique
  - **1.1.1.** : structure et propriétés des protéines, dénaturation des protéines
    ⇔ **1.2.1.** : migration électrophorétique des protéines
  - **1.1.1.** : structures tridimensionnelles des protéines, sous-unités
    ⇔ **1.2.3.** : structure d'une protéine purifiée
  - **1.1.1. - 1.1.2.** : protéines membranaires
    ⇔ **2.1.2.** : bicouches phospholipidiques
  - **1.1.1. - 1.1.2**. : purification de protéines d'intérêt
    ⇔ **2.3.2.** : génie enzymatique
    ⇔ **3.3.4. - 3.3.5.** : génie fermentaire
    ⇔ **4.5.2. - 4.5.3.** : ingénierie des protéines, génie génétique

- SVT :
  - SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme
  - SV-C-3 Membranes et échanges membranaires

- PHYSIQUE-CHIMIE : liaisons ou interactions de faible énergie – notion de temps de demi-réaction– étude des propriétés acido-basiques – solution tampon – étude des propriétés d'oxydo-réduction – mésomèrie.

MATHÉMATIQUES : dérivation – primitives – fonctions exponentielles – fonction logarithme népérien.		
1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER		
1.2.1. SUIVI QUALITATIF Le suivi qualitatif d'une purification peut se faire grâce à une électrophorèse analytique. ● Conditions dénaturantes / non dénaturantes ● Conditions réductrices / non réductrices ● Révélation non spécifique L'électrophorèse SDS-PAGE peut être suivie d'une identification de la protéine d'intérêt en western blot. ● *Blotting* ● Interactions spécifiques / non spécifiques ● Anticorps primaire / secondaire ● Conjugué ● Amplification du signal ● Immunodétection	► Identifier le(s) critère(s) de séparation lors d'une électrophorèse de protéines en fonction des conditions de sa réalisation. ► Expliquer le principe d'une électrophorèse dénaturante ou non dénaturante. ► Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des différentes étapes d'un mode opératoire de western blot. ► Conclure quant à la pureté d'une solution protéique à partir de résultats expérimentaux qualitatifs.	TB1
1.2.2. SUIVI QUANTITATIF L'évaluation du rendement et de l'enrichissement à chaque étape d'un processus de purification nécessite un dosage des protéines totales et un dosage spécifique de la protéine d'intérêt. ● Spectrophotométrie UV-Visible ● Dosage des protéines totales ● Dosage d'activité biologique	► Argumenter le choix d'une procédure de dosage des protéines totales, à l'aide d'une documentation. ► Déterminer un rendement. ► Déterminer un enrichissement. ► Commenter les valeurs de rendement et d'enrichissement en fonction de l'objectif de purification.	TB1 TB2
1.2.3. CARACTÉRISATION STRUCTURALE DE LA PROTÉINE PURIFIÉE La chromatographie d'exclusion et la SDS-PAGE sont des méthodes complémentaires pour caractériser la structure d'une protéine. ● Conditions dénaturantes / non dénaturantes ● Conditions réductrices / non réductrices ● Protéine native / protéine dénaturée	► Déterminer la masse moléculaire d'une protéine ou d'une sous-unité protéique par comparaison avec un marqueur de masses moléculaires. ► Déterminer la structure quaternaire d'une	TB1

● Monomère / oligomère ● Homo / hétéro-multimère	protéine à partir de résultats obtenus dans différentes conditions expérimentales.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Dosage des protéines.
- Suivi quantitatif et qualitatif d'une purification.
- Caractérisation structurale d'une protéine par SDS-PAGE.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TEHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Seul le principe général du dosage absorptiomètrique est à maitriser à partir d'exemples traités au choix de l'enseignant, et en se limitant à quelques méthodes.

Le principe chimique des réactions de dosage n'est pas à connaître mais peut être analysé à partir d'une documentation. De même, à partir d'une documentation, les qualités de quelques méthodes de dosages de protéines sont analysées en fonction de la méthode de purification et de la protéine à purifier.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **1.2.1.** : migration électrophorétique des protéines
    ⇔ **1.1.1.** : structure et propriétés des protéines, dénaturation des protéines
  - **1.2.1.** : immunodétection en western blot
    ⇔ **1.3.2.** : interactions antigène-anticorps
  - **1.2.2.** : dosage d'activité biologique
    ⇔ **2.2.3.** : activité enzymatique
  - **1.2.3.** : structure d'une protéine purifiée
    ⇔ **1.1.1.** : structures tridimensionnelles des protéines, sous-unités

- PHYSIQUE-CHIMIE **:** déplacement d'entités chargées dans un champ électrique – point isoélectrique.

1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS

1.3.1. INTERACTIONS PROTÉINE-LIGAND La fonction de nombreuses protéines est liée à leur faculté d'interagir spécifiquement avec de petites molécules appelées ligands. ● Complexe protéine-ligand ● Interactions ou liaisons de faible énergie ● Site de reconnaissance ● Stéréospécificité ● Ajustement induit ● Constante de dissociation ● Affinité	► Repérer les acides aminés impliqués dans la liaison d'un ligand sur une représentation 2D ou 3D du site d'interaction. ► Établir l'équation de la droite de Scatchard. ► Déterminer la constante thermodynamique de dissociation et le nombre de sites récepteur par protéine à partir de la modélisation de Scatchard. ► Comparer l'affinité de différents complexes protéine-ligand à l'aide des constantes	TB2

	thermodynamiques de dissociation.	
1.3.2. INTERACTIONS ANTIGÈNE-ANTICORPS L'interaction antigène-anticorps est très largement utilisée dans le domaine des biotechnologies. Elle peut servir de modèle à l'étude des interactions protéine-ligand. ● Complexe antigène-anticorps ● Domaine constant / domaine variable ● Fragment F_c ● Paratope ● Antigénicité ● Épitope séquentiel / épitope conformationnel ● Affinité ● Spécificité ● Anticorps monoclonal / sérum polyclonal	► Schématiser la structure d'une immunoglobuline de type G. ► Expliquer la spécificité de la reconnaissance antigène-anticorps. ► Discuter des avantages et des inconvénients de l'utilisation des anticorps monoclonaux par rapport aux sérums polyclonaux.	TB2

<u>À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TEHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :</u>

- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES

<u>LIMITES & COMMENTAIRES :</u>

L'expression du quotient de réaction associé à la réaction de dissociation permet de réinvestir des concepts vus en physique-chimie.

Les interactions protéine-ligand peuvent être l'occasion d'aborder des exemples d'applications pharmacologiques.

Seules les immunoglobulines de type G et le cas de l'interaction non coopérative avec des sites équivalents et indépendants sont traités.

L'origine de la diversité des anticorps n'est pas à traiter.

<u>LIENS :</u>

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **1.3.2.** : interactions antigène-anticorps
    ⇔ **1.2.1.** : immunodétection en western blot
    ⇔ **2.3.1.** : dosages immunoenzymatiques

- PHYSIQUE-CHIMIE : évolution spontanée d'un système chimique – quotient de réaction et constante thermodynamique d'équilibre.

- MATHÉMATIQUES : applications affines – régression linéaire.

PARTIE 2 : ENZYMOLOGIE ET GÉNIE ENZYMATIQUE

Les enzymes sont des outils biotechnologiques utilisés dans de nombreux domaines : agronomie, industries agroalimentaires, préservation de l'environnement, santé animale ou humaine. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques dont l'activité catalytique repose sur des interactions avec d'autres molécules. L'activité enzymatique traduit la quantité d'enzyme active dans un échantillon dans des conditions données.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
2.1. LES BIOMOLÉCULES, DES SUBSTRATS D'INTÉRÊT		
2.1.1. GLUCIDES Les oses sont des polyalcools, possédant un groupement carbonyle. ● Cyclisation ● Anomérie **α** / **β**	► Représenter la formule semi-développée des principaux pentoses et hexoses sous forme cyclique.	TB1
Les diholosides et les polyholosides résultent de l'association covalente d'oses. ● Condensation ● Liaison O-osidique ● Monomère / oligomère / polymère ● Relation structure-fonction	► Représenter la formule semi-développée des principaux diholosides et identifier les liaisons mises en jeu. ► Relier l'organisation en polymère et la structure tridimensionnelle de l'amidon et de la cellulose à leur fonction de réserve d'énergie ou de structure. ► Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du lactose, maltose et saccharose par les hydrolases spécifiques. ► Écrire les équations des réactions modélisant l'hydrolyse de l'amylopectine par les hydrolases spécifiques.	
Les hétérosides résultent de l'association covalente de glucides avec d'autres molécules organiques. ● Condensation ● Liaison O-osidique / liaison N-osidique	► Exploiter la formule chimique d'un hétéroside pour repérer la fraction glucidique et identifier la liaison mise en jeu.	
2.1.2. LIPIDES Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne hydrocarbonée. ● Saturé / insaturé ● Cis / trans (Z/E) ● Amphiphile	► Exploiter la formule chimique semi-développée d'un acide gras pour identifier sa nature saturée ou insaturée, ses régions hydrophiles et hydrophobes. ► Relier la température de fusion d'un acide gras à son nombre d'atomes de carbone, à son nombre d'insaturations et à la configuration de celles-ci à	TB1

	partir de données expérimentales.	
Les triglycérides résultent de l'estérification du glycérol par des acides gras. Les triglycérides sont des molécules apolaires. ● Condensation ● Liaison ester ● Hydrophobe	► Représenter la formule semi-développée d'un triglycéride, les formules des constituants de base étant fournies. ► Écrire l'équation d'une réaction modélisant l'hydrolyse d'un triglycéride par une lipase.	
Les phospholipides et les glycolipides résultent de l'association covalente entre des acides gras, un alcool (ou un amino-alcool) et d'autres constituants. Ces molécules amphiphiles forment des micelles et des bicouches lipidiques (membranes biologiques, liposomes). ● Condensation ● Liaison ester / phosphoester / amide ● Hydrophile / hydrophobe ● Amphiphile ● Relation structure-fonction	► Représenter la formule semi-développée d'un phopholipide, les formules des constituants de base étant fournies. ► Exploiter la formule chimique semi-développée d'un phospholipide ou d'un glycolipide pour repérer les régions hydrophiles et hydrophobes. ► Relier la structure d'un phospholipide à sa fonction dans l'organisation des bicouches lipidiques.	
2.1.3. PROTIDES Les structures et les propriétés des acides aminés, des peptides et des protéines sont détaillées dans la **PARTIE 1**, en relation avec leur extraction, leur purification, leur analyse et leur utilisation.	► Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse d'une liaison peptidique par une peptidase.	TB1
2.1.4. ACIDES NUCLÉIQUES Les structures et les propriétés des bases azotées, des nucléotides et des acides nucléiques sont détaillées dans la **PARTIE 4**, en relation avec leur extraction, leur purification, leur analyse et leur utilisation.	► Écrire l'équation d'une réaction modélisant l'hydrolyse d'une liaison phosphodiester par une nucléase.	TB1

LIMITES & COMMENTAIRES :

Les formules semi-développées des molécules suivantes sont à connaître : D-glucopyranose, D-ribofuranose, D-2-désoxyribofuranose. La numérotation de leurs atomes de carbone est exigible.

La composition en ose et la configuration de la liaison osidique des molécules suivantes sont à connaître :
- diholosides : maltose, saccharose, lactose ;
- polyholosides : amidon (amylose et amylopectine), cellulose.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **2.1.1.** : hétérosides, oses
    ⇔ **3.1.2.** : structure bactérienne (NAM, NAG, inclusions)
    ⇔ **3.2.2.** : catabolisme oxydatif des glucides
  - **2.1.1. - 2.1.2. - 2.1.3. - 2.1.4.** : substrats

⇔ **2.2.1.** : spécificité enzymatique
- **2.1.2.** : lipides, bicouches phospholipidiques
  ⇔ **1.1.1. - 1.1.2.** : protéines membranaires
  ⇔ **3.1.2**. : structure bactérienne (membrane)
- **2.1.3.** : hydrolyse de la liaison peptidique
  ⇔ **1.1.1.** : liaison peptidique, hydrolyse des protéines
- **2.1.4.** : hydrolyse de la liaison phosphodiester
  ⇔ **4.1.1.** : liaison phosphodiester
  ⇔ **4.1.2.** : enzymes de restriction

- SVT :
  - SV-C-1 Les cellules au sein d'un organisme
  - SV-C-3 Membranes et échanges transmembranaires
  - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire

- PHYSIQUE-CHIMIE : familles fonctionnelles en chimie organique – configuration et conformation d'une biomolécule.

2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE

2.2.1. CATALYSE ENZYMATIQUE

TB1

Les catalyseurs biologiques présentent des particularités par rapport aux catalyseurs chimiques.
- Spécificité
- Efficacité
- Conditions physiologiques
- Chemin réactionnel
- État de transition
- Énergie d'activation
- Loi d'Arrhénius
- Stabilisation du complexe activé
- Régulation
- Dénaturation

► Comparer les propriétés des catalyseurs chimiques et des catalyseurs biologiques.

► Présenter les particularités de la catalyse biologique au niveau moléculaire et énergétique.

La classification des enzymes est basée sur leurs spécificités de réaction et de substrat.
- Nomenclature EC
- Spécificité de réaction / spécificité de substrat

► Identifier la classe de l'enzyme selon l'équation de la réaction qu'elle catalyse, à l'aide d'une documentation.

Les enzymes ont un site actif formé par des acides aminés rapprochés par le repliement tridimensionnel de l'enzyme, faisant parfois intervenir des cofacteurs associés de manière covalente ou non.
- Liaison du substrat / transformation du substrat
- Complexe enzyme-substrat
- Dynamique conformationnelle
- Cofacteur
- Holoenzyme / apoenzyme
- Mécanismes réactionnels

► Préciser le(s) type(s) d'interactions mises en jeu entre une enzyme et son substrat.

► Exploiter des données expérimentales de mutagenèse au niveau du site actif pour mettre en évidence l'importance des propriétés de certains acides aminés et leur rôle probable dans la spécificité de substrat et le mécanisme catalytique.

2.2.2. CINÉTIQUE À UN SUBSTRAT DES ENZYMES MICHAELIENNES La vitesse initiale est la vitesse de réaction enzymatique en début de réaction lorsqu'elle est quasi-constante. ● Vitesse volumique de réaction ● Vitesse initiale v_i ● Phase quasi-stationnaire initiale ● Réaction non catalysée / réaction catalysée	► Tracer une courbe cinétique (primaire) de formation du produit ou de consommation du substrat en fonction du temps. ► Déterminer la durée de la phase quasi-stationnaire initiale. ► Analyser une procédure expérimentale de détermination d'une vitesse initiale de réaction enzymatique en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires et les témoins réalisés. ► Déterminer une vitesse initiale de réaction. ► Exprimer la vitesse initiale de réaction dans une unité appropriée.	TB1
La vitesse initiale d'une réaction enzymatique dépend de la concentration totale en enzyme, de la concentration initiale en substrat, ainsi que des conditions opératoires. ● Milieu réactionnel ● Conditions initiales ● Approximation de l'état quasi-stationnaire ● Courbe primaire / courbe secondaire ● Formalisation de Michaelis-Menten ● Saturation	► Tracer la courbe secondaire de saturation de Michaelis-Menten. ► Commenter l'allure de la courbe de saturation à l'aide de l'équation de Michaelis-Menten.	
Les paramètres cinétiques sont déterminés à partir de résultats expérimentaux traités selon différentes modélisations. ● Vitesse initiale maximale $v_{i\,max}$ ● Constante de Michaelis K_M ● Efficacité catalytique / affinité ● Constante catalytique ● Constante de spécificité ● Modélisations linéaires / non linéaires	► Déterminer les paramètres cinétiques d'une enzyme à l'aide d'une modélisation linéaire. ► Déterminer les paramètres cinétiques d'une enzyme à l'aide d'un logiciel de modélisation non linéaire. ► Argumenter le choix d'une enzyme en fonction des besoins technologiques et de ses paramètres cinétiques.	
2.2.3. ACTIVITÉ ENZYMATIQUE DES ENZYMES MICHAELIENNES L'activité catalytique se détermine par mesure de la vitesse initiale de transformation de la réaction dans des conditions expérimentales données. Elle traduit une quantité d'enzyme active. ● Conditions standardisées ● Réactions couplées	► Analyser une procédure expérimentale de détermination de l'activité catalytique d'une	TB2

● Réaction principale / réaction auxiliaire / réaction indicatrice ● Réaction non catalysée / réaction catalysée ● Étape cinétiquement déterminante	enzyme, en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires, les couplages éventuels de réaction et les témoins réalisés. ► Déterminer une activité catalytique. ► Exprimer l'activité catalytique dans une unité appropriée.	
Différentes grandeurs permettent de caractériser une préparation enzymatique afin de suivre la purification d'une enzyme. ● Concentration d'activité catalytique / activité catalytique spécifique ● Rendement / enrichissement	► Déterminer une concentration d'activité catalytique. ► Déterminer une activité catalytique spécifique. ► Conclure quant à la qualité d'une purification d'enzyme à partir des valeurs de rendement et d'enrichissement.	
2.2.4. MODULATION DE L'ACTIVITÉ ENZYMATIQUE DES ENZYMES MICHAELIENNES Les performances des enzymes michaeliennes dépendent des conditions expérimentales. ● Température optimale ● Activation thermique / dénaturation thermique ● Loi d'Arrhénius ● pH optimal / pH d'arrêt	► Déterminer la température optimale et le pH optimal de fonctionnement d'une enzyme. ► Expliquer l'évolution de l'activité enzymatique en fonction de la température ou en fonction du pH. ► Argumenter le choix des conditions opératoires lors d'une utilisation d'enzymes au laboratoire.	TB1
Les performances des enzymes michaeliennes dépendent de la présence d'effecteurs. ● Activation ● Inhibition compétitive / non compétitive pure ● Inhibition par excès de substrat	► Identifier l'effet inhibiteur ou activateur d'un ligand à partir de résultats expérimentaux. ► Déterminer les paramètres cinétiques apparents pour distinguer une inhibition compétitive d'une inhibition non compétitive pure. ► Relier la modification des paramètres cinétiques et le schéma réactionnel.	
2.2.5. CINÉTIQUE DES ENZYMES ALLOSTÉRIQUES La vitesse initiale des enzymes allostériques dépend de leur conformation, qui est influencée par la fixation de ligands. ● Oligomère / protomère ● Site actif / site allostérique ● Sites interdépendants ● Effecteur ● Homotropie / hétérotropie ● Forme R / forme T ● Transition allostérique	► Argumenter le comportement michaelien ou allostérique d'une enzyme sur la base de la comparaison des courbes $v_i = f([S]_0)$. ► Commenter l'allure de la courbe de saturation d'une enzyme allostérique en lien avec la transition conformationnelle.	TB2

● Vitesse initiale maximale ● Constante $K_{0,5}$ ● Affinité	► Reconnaître un effet activateur allostérique et un effet inhibiteur allostérique à partir des courbes $v_i = f([S]_0)$ d'un système K.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Détermination d'une vitesse initiale.
- Détermination des paramètres cinétiques d'une enzyme michaelienne.
- Détermination d'une activité catalytique.
- Étude de la modification d'une activité catalytique par un effecteur.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Les classes d'enzymes ne sont pas à connaître.

La démonstration de l'équation de Michaelis-Menten n'est pas exigible.

L'utilisation des différentes modélisations n'impose pas que ces modèles soient sus. Les variables des différentes modélisations sont données afin de déterminer les paramètres cinétiques.

Seuls les modèles de l'inhibition compétitive et non compétitive sont traités.

Les modulations de l'activité enzymatique par modification covalente ne sont pas traitées en Biotechnologies.

Seuls les systèmes allostériques à coopérativité positive de type K sont abordés.

Les explications de la transition allostériques sont limitées aux modèles concerté (Monod-Wyman-Changeux) et séquentiel (Koshland-Nemethy-Filmer).

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **2.2.1.** : spécificité enzymatique
    ⇔ **2.1.1. - 2.1.2. - 2.1.3. - 2.1.4.** : substrats
  - **2.2.1. - 2.2.4.** : catalyse enzymatique, modulation de l'activité enzymatique
    ⇔ **1.1.1.** : propriétés des acides aminés, structures tridimensionnelles des protéines
  - **2.2.3.** : activité enzymatique
    ⇔ **1.2.2.** : dosage d'activité biologique

- SVT :
  - SV-B-1 La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu
  - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire

- PHYSIQUE-CHIMIE : catalyse – profil réactionnel – cinétique chimique – loi d'Arrhénius – point isoélectrique.

- MATHÉMATIQUES : asymptotes d'une hyperbole – changement de variable – régression linéaire.

2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES

2.3.1. DES ENZYMES POUR ANALYSER Les enzymes permettent de doser des substrats en phase homogène. ● Méthode en point final ● Réaction principale / réaction auxiliaire / réaction indicatrice ● Spécificité	► Analyser une démarche expérimentale de dosage d'un substrat en point final, en justifiant la méthode de mesure, les conditions opératoires, les couplages éventuels de réactions et les	TB2

● Étalonnage ● Sensibilité de la méthode ● Seuil de détection / seuil de quantification ● Domaine de mesurage ● Interférences Les enzymes permettent de révéler un complexe antigène-anticorps dans le cadre de dosages immunoenzymatiques en phase hétérogène. ● Complexe antigène-anticorps ● ELISA ● Méthode directe / indirecte ● Méthode non compétitive / compétitive ● Méthode simple / méthode sandwich ● Témoins ● Spécificité ● Étalonnage ● Sensibilité de la méthode ● Seuil de détection / seuil de quantification ● Domaine de mesurage ● Réactions croisées	témoins réalisés. ► Déterminer la concentration d'un substrat lors d'un dosage en point final. ► Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des différentes étapes d'un mode opératoire de dosage immunoenzymatique. ► Analyser une démarche expérimentale de dosage immunoenzymatique pour déterminer le type de dosage réalisé. ► Expliquer le rôle de chaque étape d'un dosage immunoenzymatique. ► Proposer le protocole de réalisation d'un témoin en précisant son rôle. ► Relier l'allure de la courbe de dosage au principe de la méthode. ► Déterminer la concentration en antigène ou en anticorps d'un échantillon à l'aide d'une courbe d'étalonnage.	
2.3.2. DES ENZYMES POUR PRODUIRE Les enzymes sont utilisées industriellement comme agents de production. ● Bioconversion ● Biodégradation Les enzymes ou les cofacteurs enzymatiques peuvent être immobilisés selon différentes techniques. Les enzymes sont alors stabilisées et réutilisables. Certaines de leurs propriétés sont modifiées. ● Immobilisation par méthode physique / chimique ● Activité enzymatique ● Paramètres cinétiques ● Macroenvironnement / microenvironnement ● Partage / diffusion ● Stabilité thermique ● Structure tridimensionnelle Les enzymes dans l'industrie sont utilisées dans des bioréacteurs. ● Paramètres cinétiques ● Débit ● Continu / discontinu ● Réacteur à lit fixé	► Illustrer l'utilisation d'enzymes dans le domaine industriel par des exemples. ► Comparer différentes méthodes d'immobilisation à partir d'une documentation ou de données expérimentales. ► Déterminer le rendement d'immobilisation d'une enzyme. ► Argumenter le choix d'une méthode d'immobilisation au vu des exigences de production et des performances de la méthode d'immobilisation. ► Comparer le fonctionnement des différents types de bioréacteurs enzymatiques à partir d'une documentation ou de données expérimentales.	TB2

● Optimisation	► Déterminer un taux de conversion pour un réacteur discontinu ou continu.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Dosage d'un substrat par méthode enzymatique en point final.
- Dosage immunoenzymatique.
- Immobilisation d'une enzyme.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La représentation des architectures moléculaires se limite aux immunoglobulines de type G

Deux exemples permettent d'illustrer l'utilisation d'enzymes dans le domaine industriel.

Les méthodes d'immobilisation à envisager sont : inclusion (en matrice, encapsulation), liaison (interactions ou liaisons ioniques, adsorption, liaisons covalentes), réticulation (enzymatique, chimique).

La comparaison des méthodes d'immobilisation permet de faire émerger les points critiques et les avantages de ces techniques.

La modélisation mathématique du fonctionnement d'un bioréacteur n'est pas attendue.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **2.3.1.** : dosages immunoenzymatiques
    ⇔ **1.3.2.** : interactions antigène-anticorps
  - **2.3.2.** : génie enzymatique
    ⇔ **1.1.1. - 1.1.2.** : purification de protéines d'intérêt
    ⇔ **3.3.4. - 3.3.5.** : génie fermentaire
    ⇔ **4.5.2. - 4.5.3.** : ingénierie des protéines, génie génétique

- SVT :
  - SV-F Le développement embryonnaire chez les vertébrés

- PHYSIQUE CHIMIE : catalyse.

PARTIE 3 : MICROBIOLOGIE ET GÉNIE FERMENTAIRE

La diversité des microorganismes présente un intérêt écologique (cycle du carbone, cycle de l'azote, rumen, microbiote), et peut être exploitée par l'homme dans diverses applications biotechnologiques : fertilisation des sols, fermentations industrielles, traitement des eaux, production de biocarburants, dépollution. En effet, cette diversité se décline du point de vue structural et métabolique, expliquant l'implantation des microorganismes dans tous les biotopes et leur permettant de jouer un rôle clé dans tous les écosystèmes.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ		
3.1.1. UNITÉ DU MONDE MICROBIEN Les microorganismes sont des êtres vivants microscopiques. La place des virus dans le vivant est discutée. ● Échelle microscopique ● Organisation eucaryote / procaryote / acaryote ● Unité du vivant ● Cellulaire / acellulaire	► Discriminer les trois domaines du vivant (Bactéries, Archées, Eucaryotes). ► Dégager les points communs à tous les microorganismes pour montrer que la cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant.	TB1
3.1.2. DIVERSITÉ DES MICROORGANISMES Les microorganismes d'intérêt sont des bactéries, des levures, des moisissures, des microalgues. ● Critères de description Les bactéries présentent des éléments structuraux communs caractéristiques et des éléments structuraux variables en lien avec les conditions environnementales. ● Éléments communs / éléments variables ● Structure / ultrastructure ● Structure-fonction ● Coloration différentielle ● Perméabilité pariétale Les méthodes d'identification permettent d'attribuer un nom aux microorganismes par référence à une classification. La démarche d'identification est adaptée à l'objectif. Les méthodes d'identification ont évolué. ● Classification / identification ● Taxon / niveau taxonomique ● Base de données de référence ● Approches dichotomique / probabiliste / moléculaire	► Décrire un microorganisme en utilisant la taille, la forme, la mobilité, le mode de groupement et la coloration, selon les modes opératoires mis en œuvre. ► Identifier les éléments constituant une cellule bactérienne à partir d'observations expérimentales ou d'électronographies. ► Expliquer le rôle des étapes d'une coloration différentielle, en reliant l'action des réactifs aux propriétés des éléments structuraux pariétaux mis en évidence. ► Appliquer une démarche raisonnée d'identification phénotypique pour déterminer un genre et une espèce, à l'aide d'une documentation.	TB1 TB2

● Pouvoir discriminant ● Critères d'efficacité / de performance	► Comparer une méthode d'identification phénotypique à une méthode d'identification moléculaire ou à une méthode d'identification par spectrométrie de masse, à l'aide d'une documentation.	
3.1.3. VIRUS Les virus ne sont pas des microorganismes, ce sont des entités nucléoprotéiques qui ne sont pas autonomes pour se multiplier. ● Parasite intracellulaire obligatoire ● Hôte Un cycle viral dépend de la nature du virus et de l'hôte infecté. ● Multiplication virale ● Sensibilité / permissivité	► Montrer le caractère parasite intracellulaire obligatoire à l'aide d'un cycle viral. ► Repérer les grandes étapes de multiplication d'un virus à partir de l'étude de son cycle. ► Relier le déroulement des étapes du cycle viral à l'organisation moléculaire du virus.	TB2

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Réalisation d'une coloration différentielle (Gram, coloration des spores…) à l'aide d'une fiche technique.
- Réalisation d'examens microscopiques de cellules vivantes et de frottis après coloration.
- Réalisation d'une identification phénotypique.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

En biotechnologies, l'identification des microorganismes (levures, moisissures, microalgues) est à visée applicative et s'appuie sur une nomenclature. En SVT, l'approche est essentiellement phylogénétique et s'intéresse aux liens de parentés entre organismes.

L'identification se limite aux bactéries et aux levures. Aucune galerie d'identification n'est à connaître.

Les méthodes d'identification moléculaires ne sont pas à connaître mais seulement présentées à partir d'une documentation. Le principe de la spectrométrie de masse n'est pas exigible.

Aucune monographie de virus n'est attendue. Il s'agit de montrer la diversité structurale (organisation structurale, taille, présence ou non d'une enveloppe, nature de l'information génétique) et la diversité d'hôte à l'aide de trois exemples dont un bactériophage à ADN.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **3.1.2.** : structure bactérienne (NAM, NAG, inclusions, membrane)
    ⇔ **2.1.1.** : hétérosides
    ⇔ **2.1.2.** : lipides
  - **3.1.2.** : identification
    ⇔ **3.2.1.** : métabolisme énergétique
    ⇔ **3.3.3.** : diauxie
    ⇔ **4.5.1.** : opéron lactose

- SVT :
  - SV-C La cellule dans son environnement
  - SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique

o SV-I-2 Une approche phylogénétique de la biodiversité		
3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE		
3.2.1. MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE Le métabolisme des microorganismes permet de les catégoriser en types trophiques. ● Anabolisme / catabolisme ● Métabolisme énergétique ● Sources d'énergie / d'électrons / de matière / de facteurs de croissance ● Versatilité métabolique	► Relier la couverture des besoins des microorganismes en énergie, en électrons, en matière et en facteurs de croissance éventuels à leurs types trophiques.	TB1
Le potentiel énergétique existe sous différentes formes. ● Enthalpie libre de réaction ● Énergie lumineuse ● Énergie chimique ● Énergie osmotique ● Couplages énergétiques ● Transduction	► Réaliser un schéma de synthèse pour montrer les transductions entre les formes d'énergie à partir de documents présentant différentes voies métaboliques. ► Expliquer le rôle central de l'ATP dans le métabolisme énergétique. ► Expliquer la notion de couplage énergétique.	
L'ATP est produit par différents mécanismes de phosphorylation. ● Composé à haut potentiel d'hydrolyse ● Couplage chimio-chimique / osmo-chimique ● Transduction ● Moteur moléculaire ● Dynamique conformationnelle	► Expliquer le couplage chimio-chimique à l'origine de la phosphorylation au niveau du substrat. ► Expliquer le couplage osmo-chimique au niveau de l'ATP synthase.	
Les chaînes de transporteurs membranaires d'électrons présentent une unité dans leur diversité. ● Donneur primaire / accepteur final d'électrons ● Potentiel d'oxydo-réduction ● Gradient électrochimique de cations ● Translocation de cations ● Couplage chimio-osmotique / photo-chimique	► Distinguer les types de transporteurs (électrons / électrons-cations) dans une chaîne de transporteurs membranaires. ► Identifier le donneur primaire et l'accepteur final d'électrons d'une chaîne de transporteurs membranaires. ► Expliquer le couplage chimio-osmotique à l'origine de la création du gradient transmembranaire de cations. ► Comparer l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire respiratoire et l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire photosynthétique. ► Comparer le fonctionnement de chaînes membranaires de transfert d'électrons en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction et d'enthalpie libre de réaction.	
Le pouvoir réducteur peut être créé dans le		

cytoplasme ou à l'issue d'un transport membranaire d'électrons. ● Production cytosolique ● Flux membranaire direct ● Flux membranaire inverse	► Distinguer les modes de production des cofacteurs réduits lors de l'analyse de voies métaboliques.	
3.2.2. MICROORGANISMES CHIMIOTROPHES Les microorganismes chimiotrophes oxydent un composé chimique réduit pour produire de l'ATP et du pouvoir réducteur. ● Chimioorganotrophie / chimiolithotrophie ● Respiration aérobie / respirations anaérobies ● Fermentations ● Couplage chimio-chimique / chimio-osmotique / osmo-chimique ● Rendement énergétique ● Donneur primaire / accepteur final d'électrons ● Réoxydation des coenzymes ● Carrefour métabolique	► Écrire les bilans de matière et d'énergie de la glycolyse et des fermentations éthanolique et homolactique à partir du glucose chez les chimioorganotrophes. ► Établir les bilans de matière et d'énergie de voies métaboliques chez les chimioorganotrophes. ► Établir les bilans de matière et d'énergie de voies métaboliques chez les chimiolithotrophes ► Expliquer le rôle métabolique central du cycle de Krebs chez les chimioorganotrophes à partir d'une documentation. ► Schématiser l'organisation fonctionnelle d'une chaîne membranaire respiratoire. ► Expliquer le fonctionnement de la chaîne membranaire respiratoire en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction et d'enthalpie libre de réaction. ► Repérer les réactions faisant intervenir des couplages énergétiques et identifier le type de couplage mis en jeu. ► Comparer des voies métaboliques en termes de donneur primaire et d'accepteur final d'électrons, de voie de réoxydation des coenzymes, de mode de production d'ATP, et de rendement énergétique, à l'aide d'une documentation. ► Présenter l'intérêt des fermentations éthanolique et homolactique dans le cadre de productions d'intérêt industriel et/ou agroalimentaire.	TB1
3.2.3. MICROORGANISMES PHOTOTROPHES AUTOTROPHES Les microorganismes phototrophes utilisent une source d'énergie lumineuse pour produire de l'ATP et du pouvoir réducteur. Chez les microorganismes autotrophes, l'ATP et le pouvoir réducteur sont réinvestis pour la synthèse de matière organique. ● Phototrophie / photosynthèse ● Photosynthèse oxygénique ● Réaction photo-chimique	► Schématiser l'organisation fonctionnelle de la chaîne photosynthétique des cyanobactéries.	TB1

● Photosystèmes / antennes collectrices / centre réactionnel ● Couplage photo-chimique / chimio-osmotique / osmo-chimique /chimio-chimique ● Donneur primaire / accepteur final d'électrons ● Autotrophie vis-à-vis du carbone	► Expliquer le fonctionnement de la chaîne membranaire photosynthétique en utilisant les variations de potentiel d'oxydoréduction lors de la production d'ATP et de pouvoir réducteur chez les cyanobactéries. ► Écrire l'équation de la réaction catalysée par la RuBisCO. ► Établir le bilan de matière et d'énergie du cycle de Calvin. ► Montrer l'importance de l'ATP et du pouvoir réducteur pour la fixation autotrophe du CO_2 au niveau du cycle de Calvin. ► Repérer les réactions faisant intervenir des couplages énergétiques dans la photosynthèse et identifier le type de couplage mis en jeu.	
3.2.4. ÉCOLOGIE MICROBIENNE Les microorganismes présentent une diversité de métabolismes et de modalités pour s'implanter dans les écosystèmes. Ils jouent un rôle clé dans certaines étapes des cycles de l'azote et du carbone. ● Biotope / biocénose ● Biofilms ● Coopération entre microorganismes ● Cycle de la matière ● Interconversions matière minérale-matière organique	► Montrer la coopération au niveau nutritionnel d'une association de microorganismes. ► Identifier le type trophique des microorganismes intervenant à chaque étape d'un cycle de la matière. ► Distinguer les réactions d'assimilation et de dissimilation dans les cycles de la matière. ► Construire un schéma simple du cycle de l'azote ou du carbone en indiquant les différentes formes de la matière et les types trophiques des microorganismes intervenant dans les interconversions.	TB2

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Détermination du type respiratoire.
- Réalisation de tests enzymatiques en vue de l'étude du métabolisme.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Seules les formules semi-développées du D-glucopyranose, du pyruvate, du groupement acétyl (de l'acétyl-coenzyme A), de l'éthanol et du lactate sont à connaître.

Les valeurs des potentiels d'oxydoréduction standards apparents des couples suivants sont à connaître : NAD^+/NADH et O_2/H_2O.

L'étude du fonctionnement de l'ATP synthase se limite au principe général de son fonctionnement.

La présentation des voies métaboliques se fait à partir d'exemples choisis pour leur intérêt écologique et/ou biotechnologique : respiration aérobie, respiration anaérobie des nitrates (dénitrification), méthanogenèse, nitrification, fermentations éthanolique et homolactique… Ils permettent d'illustrer les interconversions entre les formes d'énergie et de mettre en évidence la diversité des couplages énergétiques.

Une coordination entre les enseignants de SVT et de biotechnologies est indispensable lors de l'étude de la photosynthèse. Les photosynthèses anoxygéniques ne sont pas traitées.

La comparaison de ces voies métaboliques se fait à plusieurs niveaux : comparaison de respirations chez les chimioorganotrophes, comparaison de fermentations chez les chimioorganotrophes, comparaisons entre les respirations et les fermentations chez les chimioorganotrophes, comparaison des respirations entre les chimioorganotrophes et les chimiolithotrophes.

Une coordination entre les enseignants de SVT et de biotechnologies est indispensable lors de l'étude des cycles de la matière.

L'étude des cycles de l'azote et du carbone permet d'illustrer la diversité métabolique des microorganismes, en lien avec les métabolismes des chimiotrophes (dénitrification, nitrification, méthanogenèse) et des phototrophes (photosynthèse oxygénique) présentés par ailleurs.

Les associations de microorganismes peuvent être abordés à l'aide d'exemples simples : biofilms (corrosion de tuyau, plaque dentaire, environnement…), bioréacteurs naturels (rumen...).

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **3.2.1. - 3.2.2.** : métabolisme énergétique
    ⇔ **3.1.2**. : identification
    ⇔ **3.3.1.** : types trophiques, nutrition, culture
  - **3.2.2.** : catabolisme oxydatif des glucides
    ⇔ **2.1.1**. : oses

- SVT :
  - SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé
  - SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée
  - SV-C-4 Intégration physiologique du métabolisme cellulaire
  - SV-H-2 Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique
  - BG-A-1 Le cycle du carbone
  - BG-A-2 Le cycle de l'azote
  - BG-B-1 Le sol

- PHYSIQUE-CHIMIE : évolution spontanée d'un système physico-chimique modélisée par une réaction d'oxydo-réduction – modélisation de la transformation d'un système chimique par une réaction d'oxydo-réduction – osmose et diffusion de particules à travers une membrane – loi de Fick.

3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES

3.3.1. NUTRITION ET CULTURE DES MICROORGANISMES La connaissance des besoins nutritionnels et des exigences physico-chimiques des microorganismes permet de concevoir des milieux de culture appropriés et de mettre en place des conditions de culture adaptées. ● Types trophiques ● Température optimale / pH optimal ● Atmosphère de culture ● Milieux sélectifs ● Milieux différentiels	► Expliquer l'influence des paramètres physico-chimiques sur le développement des microorganismes. ► Relier les résultats de culture d'un	TB1

	microorganisme dans des conditions données à ses exigences nutritionnelles ou physico-chimiques. ► Relier la composition biochimique d'un milieu de culture et son(ses) utilisation(s) : isolement, enrichissement, sélection, identification, production.	
3.3.2. QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES La quantification d'une population microbienne permet d'estimer sa concentration dans un milieu de culture, au cours d'une croissance, dans un produit biotechnologique, lors de contrôles d'hygiène. ● Cellules totales / revivifiables / viables non cultivables ● Seuil de quantification ● Facteur de proportionnalité	► Expliquer le principe d'une technique de quantification usuelle des microorganismes. ► Dégager le principe d'une technique de quantification à l'aide d'une documentation. ► Comparer des techniques de quantification en termes d'informations apportées, de rapidité, de simplicité, de robustesse, de seuil de quantification et d'intérêt selon les objectifs. ► Déterminer une concentration en microorganismes dans un échantillon. ► Interpréter des résultats de quantification en lien avec le contexte.	TB1
3.3.3. CROISSANCE DES MICROORGANISMES La croissance des microorganismes unicellulaires en milieu liquide non renouvelé peut être modélisée. ● Division bactérienne ● Vitesse volumique de croissance / vitesse spécifique de croissance ● Temps de génération / taux horaire de croissance ● Bactériostase / bactéricidie ● Diauxie	► Expliquer la courbe d'évolution de la biomasse en fonction du temps. ► Représenter une courbe de croissance microbienne à partir de résultats expérimentaux. ► Nommer les phases de croissance et déterminer leur durée. ► Déterminer les paramètres cinétiques de croissance. ► Présenter les facteurs influençant la durée des phases et les valeurs des paramètres cinétiques de croissance. ► Relier la croissance en présence d'un inhibiteur à son effet bactériostatique ou bactéricide. ► Relier la croissance diauxique à la consommation successive de deux substrats.	TB1

3.3.4. CULTURES EN BIORÉACTEUR La culture des microorganismes en bioréacteur permet la bioproduction, la bioconversion et la biodégradation. ● Culture en milieu non renouvelé (*batch*) / culture en milieu alimenté (*fed-batch*) / culture en milieu renouvelé (culture continue) ● Biomasse ● Métabolites associés à la croissance / non associés à la croissance ● Rendement ● Productivité	► Présenter les caractéristiques générales de la culture discontinue en milieu non renouvelé (*batch*). ► Déterminer à partir de résultats expérimentaux de croissance en milieu non renouvelé : - le rendement global de conversion d'un substrat en biomasse ; - le rendement global de conversion d'un substrat en produit ; - la productivité volumique horaire ou la productivité horaire. ► Interpréter les paramètres cinétiques et de production caractérisant une croissance en milieu non renouvelé. ► Distinguer métabolites associés à la croissance et métabolites non associés à la croissance à partir de résultats expérimentaux de bioproduction. ► Comparer les cultures discontinues en milieu non renouvelé, les cultures semi-discontinues en milieu alimenté et les cultures continues en milieu renouvelé du point de vue de leurs applications et de leurs contraintes.	TB2
Le bioréacteur de laboratoire permet d'optimiser la culture des microorganismes, à plus ou moins grande échelle. ● Culture contrôlée ● Boucle de régulation ● Analyses en ligne / hors ligne	► Relier les différents éléments du bioréacteur à leur(s) rôle(s) dans le contrôle et la régulation des paramètres physico-chimiques (agitation, température, pH, gaz dissous) lors de la culture de microorganismes. ► Présenter les particularités de la culture en bioréacteur par rapport à une croissance en milieu liquide agité thermostaté.	
3.3.5. CHOIX ET SÉLECTION DES SOUCHES D'INTÉRÊT Les principaux microorganismes d'intérêt industriel sont les levures, les moisissures et les bactéries. ● Cahier des charges ● Risque biologique ● Performance ● Rendement Ces microorganismes peuvent être utilisés tels quels, être sélectionnés spécifiquement pour leurs propriétés ou encore être améliorés.	► Expliciter quelques critères de choix d'une souche d'intérêt industriel.	TB2

● Sélection	► Analyser des stratégies d'obtention et de sélection d'une souche d'intérêt à partir d'une documentation.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Cultures bactériennes : isolement, enrichissement, sélection.
- Quantification d'une population microbienne.
- Étude d'une croissance de microorganismes en milieu liquide thermostaté.
- Étude d''une croissance de microorganismes en milieu non renouvelé dans un bioréacteur.
- Exploitation d'analyses quantitatives en ligne et hors ligne.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La composition des différents milieux de culture ou le mode d'action des agents sélectifs n'est pas à connaitre. En revanche, à l'aide d'une documentation, chaque étudiant doit être capable d'analyser la composition d'un milieu de culture pour en déduire son utilisation et effectuer un choix raisonné, en relation avec le microorganisme à cultiver et l'objectif suivi.

Le principe des techniques usuelles par comptage direct, par mise en culture sur milieu solide, par photométrie des milieux troubles, par mesure du poids sec est exigible.

La cytométrie en flux, l'impédancemétrie, le dosage de l'ATP par bioluminescence sont présentés à partir d'une documentation.

Le principe de fonctionnement des électrodes utilisées dans les bioréacteurs n'est pas à connaître.

Le caractère non pathogène, la facilité de culture ainsi que le rendement et la facilité de purification du produit d'intérêt constituent des critères de choix d'une souche d'intérêt industriel.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **3.3.1.** : types trophiques, nutrition, culture
    ⇔ **3.2.1. - 3.2.2.** : métabolisme énergétique
  - **3.3.3.** : diauxie
    ⇔ **3.1.2.** : identification des bactéries (test ONPG)
    ⇔ **3.3.1.** : nutrition et culture des microorganismes
    ⇔ **4.5.1.** : opéron lactose
  - **3.3.4. - 3.3.5.** : génie fermentaire
    ⇔ **3.3.1.** : types trophiques, nutrition, culture
    ⇔ **3.3.3.** : croissance, suivi de croissance
  - **3.3.4. - 3.3.5.** : génie fermentaire
    ⇔ **1.1.1. - 1.1.2**. : purification de protéines d'intérêt
    ⇔ **2.3.2**. : génie enzymatique
    ⇔ **4.5.2. - 4.5.3.** : ingénierie des protéines, génie génétique

- SVT :
  - SV-H-1 Les populations et leur démographie

- MATHÉMATIQUES : fonction logarithme népérien – fonction exponentielle – dérivation.

PARTIE 4 : BIOLOGIE MOLÉCULAIRE DES ACIDES NUCLÉIQUES ET GÉNIE GÉNÉTIQUE

Les outils du génie génétique permettent de modifier des microorganismes d'intérêt afin d'optimiser leur utilisation en biotechnologies. L'extraction et la purification des acides nucléiques sont des étapes essentielles dans une démarche de génie génétique. Elles s'appuient sur la structure et les propriétés physico-chimiques des acides nucléiques. La spécificité d'appariement des bases azotées est le fondement de l'hybridation moléculaire, concept central en biologie moléculaire dont découlent de nombreuses applications biotechnologiques telles que la PCR ou le séquençage.

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES	
4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION		
4.1.1. STRUCTURE DES ACIDES NUCLÉIQUES Les acides nucléiques sont des polymères de nucléotides. ● Polymère ● Nucléotide ● Base azotée ● Liaison phosphodiester ● Molécule orientée ● Orientation 5'-3'	► Représenter la formule semi-développée d'un nucléotide, les formules des bases azotées étant fournies. ► Distinguer bases puriques et bases pyrimidiques. ► Représenter une liaison phosphodiester. ► Repérer l'orientation d'un acide nucléique. ► Distinguer acides ribonucléique et désoxyribonucléique.	TB1
Les acides nucléiques adoptent une structure tridimensionnelle. La stabilité de celle-ci dépend de leur séquence et des conditions physico-chimiques du milieu. ● Complémentarité ● Brins antiparallèles ● Interaction d'empilement ● Liaison hydrogène ● Dénaturation ● Température de fusion T_m	► Représenter par un schéma la structure bicaténaire de l'ADN-B permettant de mettre en évidence les interactions entre bases complémentaires et successives. ► Relier la stabilité d'une structure bicaténaire à sa taille, à son pourcentage en GC, et aux conditions physico-chimiques du milieu.	
4.1.2. DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE À L'EXTRAIT NUCLÉIQUE PURIFIÉ Les méthodes d'extraction et de purification des acides nucléiques reposent sur leurs propriétés physico-chimiques. ● Polyanion ● Polarité ● Solubilité	► Relier la structure des acides nucléiques à leurs propriétés physico-chimiques. ► Analyser les différentes étapes d'une procédure opératoire d'extraction d'acides nucléiques. ► Analyser les différentes étapes d'une procédure	TB1

	opératoire de purification d'acides nucléiques. ► Identifier, dans une procédure opératoire, les précautions à prendre lors de l'extraction et de la purification, afin de préserver la structure de l'acide nucléique d'intérêt.	
La purification des acides nucléiques est contrôlée par spectrophotométrie et par électrophorèse. ● Propriété spectrale ● Pureté ● Rendement ● Enzyme de restriction	► Justifier l'intérêt du rapport A_{260}/A_{280}. ► Argumenter les choix de réalisation d'une électrophorèse de contrôle : pourcentage d'agarose, témoin de migration, marqueur de tailles. ► Analyser un électrophorégramme d'une préparation d'ARN totaux purifiés. ► Analyser un électrophorégramme d'une préparation d'ADN plasmidique avec ou sans restriction dans le cadre d'un contrôle de purification. ► Déterminer la taille d'un ADN double brin linéaire par comparaison avec un marqueur de tailles. ► Conclure quant à la qualité de la purification d'un ADN génomique, d'un ADN plasmidique ou d'ARN à partir de résultats expérimentaux.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Purification d'ADN génomique et d'ADN plasmidique à l'aide de kits.
- Vérification de la qualité des produits de purification d'ADN génomique par méthode spectrophotométrique.
- Vérification de la qualité des produits de purification d'ADN plasmidique par restriction / électrophorèse.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

Les formules semi-développées des molécules suivantes sont à connaître : D-ribofuranose, D-2-désoxyribofuranose. La numérotation de leurs atomes de carbone est exigible.

La structure des phosphates et la nomenclature liée à leur positionnement au sein du nucléotide est exigible.

La formule semi-développée des bases n'est pas exigible.

Seules les méthodes d'extraction et de purification des acides nucléiques à l'aide d'un kit d'extraction-purification sont attendues.

Seules les méthodes de purification par chromatographie sur colonne ou en *batch* sont attendues : purification d'ADN génomique, plasmidique, des ARN totaux ou des ARN messagers eucaryotes.

D'autres méthodes pourront cependant être présentées en formation.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **4.1.1. - 4.1.2.** : liaison phosphodiester, enzymes de restriction
    ⇔ **2.1.4.** : hydrolyse de la liaison phosphodiester
    ⇔ **4.5.1.** : contrôle d'un clonage par restriction
  - **4.1.1.** : complémentarité des bases, orientation 5'-3'
    ⇔ **4.2.1.** : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles
    ⇔ **4.3.1. - 4.3.3.** : amorces
    ⇔ **4.4.2.** : alignement de séquences
  - **4.1.1.** : structure bicaténaire
    ⇔ **4.3.1. - 4.3.3.** : dénaturation, température de fusion
  - **4.1.2.** : polyanion
    ⇔ **4.3.2.** : migration électrophorétique des acides nucléiques

- SVT :
  - SV-D Génomique structurale et fonctionnelle

4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES

4.2.1. HYBRIDATION L'hybridation moléculaire en phase homogène ou hétérogène est basée sur la spécificité d'appariement de séquences complémentaires. ● Séquence cible (matrice) ● Sonde (chaude / froide) ● Hybride La spécificité d'appariement des séquences complémentaires dépend des conditions physico-chimiques de l'hybridation. ● Liaison hydrogène ● Complémentarité des bases ● Brins antiparallèles ● Interactions spécifiques / non spécifiques ● Stringence	► Expliquer le principe général de l'hybridation moléculaire. ► Classer des conditions d'hybridation en fonction de leur stringence. ► Relier les conditions de stringence à la spécificité de l'hybridation souhaitée.	TB2
4.2.2. APPLICATIONS DE L'HYBRIDATION Certains outils d'analyse du génome et du transcriptome se basent sur le concept d'hybridation. ● Phase hétérogène ● Southern blot / northern blot ● Puce à ADN ● Approche "-omique" ● *Blotting* ● Sonde ● Amplification du signal	► Expliquer le principe du northern blot en comparaison avec celui du Southern blot. ► Présenter les intérêts de l'utilisation d'une puce à ADN par rapport à ceux du northern blot.	TB2

LIMITES & COMMENTAIRES :

Le concept d'hybridation est réinvesti en SVT lors de la présentation du processus de réplication et lors de l'analyse de résultats expérimentaux obtenus par hybridation *in situ*, FISH ou autres…

Le Southern blot est abordé pour sa dimension historique.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **4.2.1**. : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles
    ⇔ **4.1.1**. : complémentarité des bases, orientation 5'-3'
    ⇔ **4.3.1. - 4.3.3.** : amorces de PCR
- SVT :
  - SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique
- PHYSIQUE-CHIMIE : énergies caractéristiques des interactions entre entités chimiques

4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE

4.3.1. PCR EN POINT FINAL		TB2
Les ADN polymérases thermostables sont les enzymes clés de la PCR. ● Amorce ● Polymérisation orientée ● Processivité ● Activité polymérase ● Activité exonucléase ● Correction sur épreuve	► Représenter le mécanisme d'ajout orienté d'un nucléotide à une chaîne nucléotidique en formation.	
La PCR en point final est la technique historique d'amplification de l'ADN. La PCR est un processus cyclique. Elle se déroule en trois étapes bien définies temporellement et thermiquement. ● Dénaturation ● Hybridation ● Élongation ● Température de fusion / température d'hybridation	► Expliquer le principe de la PCR en point final. ► Identifier les points critiques de chaque étape d'un cycle PCR. ► Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire des trois premiers cycles d'une PCR aboutissant à un amplicon.	
La PCR en point final nécessite des réactifs particuliers. ● ADN matrice cible ● ADN polymérase thermostable ● dNTP ● Couple d'amorces	► Expliquer le rôle des principaux constituants du milieu réactionnel. ► Argumenter le choix d'un couple d'amorces sur des critères de position, de longueur, de température de fusion. ► Expliquer comment il est possible d'ajouter une séquence particulière (site de restriction par exemple) en bordure d'un amplicon grâce à une amorce.	
4.3.2. CONTRÔLE DE L'AMPLIFICATION		TB2
L'amplification par PCR doit être contrôlée. ● Efficacité ● Spécificité	► Proposer la composition de témoins de spécificité et d'efficacité.	
Les produits de l'amplification par PCR en		

point final sont analysés par électrophorèse. ● Marqueur de tailles ● Amplicon ● Spécificité de l'amplification	► Analyser des résultats expérimentaux de PCR en point final. ► Argumenter le choix d'éventuelles actions correctives proposées pour limiter les amplifications non spécifiques.	
4.3.3. TECHNIQUES AVANCÉES DE PCR Il existe de nombreuses variantes de la technique de PCR. La RT-PCR permet la production de fragments d'ADNc à partir d'ARNm. ● Transcriptase inverse ● ADNc La PCR en temps réel (qPCR) permet la quantification d'ADN ou d'ARN présents dans un échantillon. ● Cycle seuil ● Quantification absolue / relative ● Étalonnage ● Normalisation ● Gène de référence	► Expliquer le principe de la transcription inverse (RT) et son application à la RT-PCR avec amorces spécifiques (RT-PCR en une étape). ► Tracer une droite d'étalonnage à partir de résultats expérimentaux de qPCR ou de RT-qPCR. ► Déterminer la quantité initiale de séquence cible dans une démarche de quantification absolue. ► Déterminer le niveau d'expression d'un gène par rapport à celui d'un gène de référence dans une démarche de quantification relative en RT-qPCR.	TB2

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Amplification d'une séquence cible par PCR en point final.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La conception d'amorces peut être l'occasion de sensibiliser les étudiants à l'utilisation des banques de données de séquences et des outils informatiques d'aide à la conception.

On s'attache à montrer la diversité des domaines d'application de la PCR au travers de quelques exemples concrets.

Les principes des techniques de PCR exigibles se limitent à ceux cités dans le paragraphe ci-dessus.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **4.3.1. - 4.3.3.** : PCR
    ⇔ **4.5.1.** : contrôle d'un clonage par PCR
  - **4.3.1. - 4.3.3.** : amorces
    ⇔ **4.1.1.** : complémentarité des bases, orientation 5'-3'
    ⇔ **4.2.1.** : hybridation de séquences complémentaires antiparallèles

- **4.3.1. - 4.3.3.** : dénaturation, température de fusion
  ⇔ **4.1.1.** : structure bicaténaire
- **4.3.2.** : migration électrophorétique des acides nucléiques
  ⇔ **4.1.2.** : polyanion

 SVT :
- SV-D-1 Génome des cellules, transmission de l'information génétique

 PHYSIQUE-CHIMIE **:** mobilité d'entités chargées dans un champ électrostatique uniforme.

4.4. LE SÉQUENÇAGE DE L'ADN, DES TECHNIQUES EN CONSTANTE ÉVOLUTION

4.4.1. ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE SÉQUENÇAGE DE L'ADN

TB2

Les méthodes de séquençage ont connu des ruptures technologiques majeures.

La méthode de Sanger est la méthode historique de séquençage, dite de première génération. Des évolutions ont permis son automatisation.
- ddNTP
- Traceurs fluorescents
- Électrophorèse capillaire

► Expliquer le principe du séquençage par la méthode de Sanger avec marqueurs fluorescents.

► Présenter les particularités de l'électrophorèse capillaire.

Les technologies de seconde génération (dites NGS, *Next Generation Sequencing*) permettent un séquençage haut-débit générant un flux de données massif.
- Haut-débit
- Données massives

► Dégager les principales différences entre une technologie NGS et la méthode de Sanger à l'aide d'une documentation.

Les technologies de troisième génération (dites SMS, *Single Molecule Sequencing*) permettent le séquençage de molécules uniques.
- Miniaturisation
- Données massives

► Dégager l'intérêt des ruptures technologiques successives dans l'évolution des méthodes de séquençage à l'aide d'une documentation.

4.4.2. APPLICATIONS DU SÉQUENÇAGE DE L'ADN

TB2

Les résultats de séquençage permettent d'alimenter les bases de données ou d'effectuer des comparaisons avec des séquences connues. Ces comparaisons utilisent des algorithmes informatiques permettant d'aligner les séquences entre elles.
- BLAST
- Alignement
- Recherche d'homologies

► Analyser les résultats d'un alignement de séquences.

► Discuter des enjeux éthiques liés à la collecte et l'utilisation des données de séquençage à l'aide d'une documentation.

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION : - Utilisation d'un logiciel d'alignement de séquence pour vérifier la validité d'un clone, mettre en évidence des variants viraux ou détecter des anomalies génétiques provoquant des pathologies.		
LIMITES & COMMENTAIRES : Les principes des méthodes de deuxième et troisième générations ne sont pas exigibles. Les évolutions des méthodes de séquençage se limitent aux critères suivants : augmentation de débit, réduction des coûts et temps d'analyse, miniaturisation. Le vocabulaire spécifique au traitement des données brutes de séquençage en bio-informatique (*Contigs, gap, scaffold*…) tout comme la maîtrise d'un logiciel d'alignement n'est pas attendu. Les très nombreuses applications du séquençage sont abordées au travers d'un ou deux exemples maximum.		
LIENS : BIOTECHNOLOGIES : o **4.4.1.** : séquençage ⇔ **4.1.1.** : complémentarité des bases, orientation 5'-3' ⇔ **4.5.1.** : contrôle d'un clonage par séquençage o **4.4.2.** : alignement de séquences ⇔ **4.1.1.** : complémentarité des bases, orientation 5'-3'		
4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE		
4.5.1. CLONAGE D'UNE SÉQUENCE NUCLÉOTIDIQUE		TB2
Le clonage de l'ADN fait appel à un vecteur adapté à un hôte. ● Origine de réplication ● Marqueur de sélection ● Site de clonage multiple	► Identifier les séquences indispensables portées par un vecteur de clonage plasmidique. ► Expliquer le rôle des séquences portées par un vecteur de clonage plasmidique. ► Argumenter le choix d'un hôte adapté au vecteur utilisé à l'aide d'une documentation.	
Différentes étapes permettent d'obtenir un microorganisme recombiné. ● Insert ● Restriction ● Ligation ● Cellule compétente ● Transformation ● Sélection / criblage ● Opéron	► Schématiser les étapes d'un clonage par restriction-ligation chez un microorganisme. ► Expliquer le principe de transformation par électroporation ou choc thermique. ► Expliquer le principe de sélection des microorganismes transformés, grâce à un marqueur d'auxotrophie ou une résistance à un antibiotique. ► Analyser une stratégie de clonage à l'aide d'une documentation. ► Schématiser l'organisation de l'opéron lactose. ► Expliquer le fonctionnement et la régulation de l'opéron lactose.	

	► Expliquer le principe de l'α-complémentation (criblage blanc-bleu).	
Le résultat d'un clonage doit être vérifié. ● PCR ● Restriction ● Séquençage	► Analyser les résultats expérimentaux d'un clonage.	
4.5.2. EXPRESSION HÉTÉROLOGUE DE PROTÉINES RECOMBINÉES CHEZ LES MICROORGANISMES Des protéines recombinées peuvent être produites grâce à des vecteurs d'expression chez les microorganismes. ● Promoteur fort ● Promoteur constitutif / inductible ● Promoteur spécifique d'un hôte ● Protéine hétérologue ● Protéine étiquetée ● Protéine de fusion ● Clonage directionnel ● Cadre de lecture ouvert ● Clonage en phase	► Identifier les séquences particulières portées par un vecteur d'expression. ► Expliquer le rôle des séquences portées par un vecteur d'expression. ► Distinguer vecteur de clonage, vecteur d'expression et vecteur navette. ► Argumenter le choix d'un hôte adapté à la production de protéines recombinées à l'aide d'une documentation. ► Schématiser les différentes étapes du processus conduisant à la production d'une protéine recombinée. ► Analyser une stratégie de production de protéine recombinée à l'aide d'une documentation et proposer des optimisations.	TB2
4.5.3. « ÉDITION » DU GÉNOME De nouvelles méthodes facilitent grandement les modifications ciblées du génome. ● « Édition » du génome ● Séquences CRISPR ● Endonucléases ● ARN guide ● Réparation (avec ou sans recombinaison homologue) ● Bioéthique	► Expliquer l'intérêt physiologique du système CRISPR/Cas chez les procaryotes. ► Réaliser un schéma à l'échelle moléculaire du complexe « séquence cible / ARN guide / endonucléase ». ► Analyser une stratégie d'« édition » de génome par le système CRISPR/Cas. ► Discuter des enjeux éthiques liés aux techniques de modification du génome à l'aide d'une documentation.	TB2
Le génie génétique permet de modifier le génome de microorganismes afin d'optimiser leur utilisation dans différents processus industriels. ● Voie métabolique ● Enzyme	► Analyser ou proposer des optimisations de voies métaboliques à partir d'une souche sauvage	

● Génie des « procédés » ● Organisme génétiquement modifié	dans le cadre d'une production en génie fermentaire, à l'aide d'une documentation. ► Discuter des enjeux éthiques liés aux organismes génétiquement modifiés en lien avec la réglementation en vigueur.	

ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES SUPPORT DE LA FORMATION :

- Transformation bactérienne.

À TRAVAILLER EN LIEN AVEC LES COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES DU MODULE 5 :

- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES
- 5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE
- 5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

LIMITES & COMMENTAIRES :

La production de protéines recombinées à partir d'un exemple choisi peut permettre de mobiliser les concepts abordés en purification des protéines et génie fermentaire.

Les méthodes de sélection se limitent à la résistance aux antibiotiques et aux marqueurs d'auxotrophie.

Les microorganismes hôtes étudiés seront limités aux seules bactéries et levures.

Les mécanismes moléculaires de réparation avec ou sans recombinaison homologue ne sont pas exigibles.

Les enjeux éthiques liés à la modification du génome seront envisagés à l'aide de documents émanant des organismes de réflexion sur les innovations en biotechnologies. Les aspects éthiques en lien avec la réglementation sur les OGM en particulier seront analysés.

LIENS :

- BIOTECHNOLOGIES :
  - **4.5.1.** : opéron lactose
    ⇔ **3.1.2.** : identification des bactéries (test ONPG)
    ⇔ **3.3.1.** : nutrition et culture des microorganismes
    ⇔ **3.3.3.** : diauxie
  - **4.5.1.** : contrôle d'un clonage par restriction, PCR, séquençage
    ⇔ **4.1.1. - 4.1.2.** : liaison phosphodiester, enzymes de restriction
    ⇔ **4.3.1. - 4.3.3.** : PCR
    ⇔ **4.4.1.** : séquençage
  - **4.5.2. - 4.5.3.** : ingénierie des protéines, génie génétique
    ⇔ **1.1.1. - 1.1.2.** : purification de protéines d'intérêt
    ⇔ **2.3.2**. : génie enzymatique
    ⇔ **3.3.4. - 3.3.5.** : génie fermentaire

- SVT :
  - SV-D Génomique structurale et fonctionnelle

PARTIE 5 : COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES TECHNOLOGIQUES

En biotechnologies, la mise en œuvre des activités expérimentales s'appuie sur des procédures rigoureuses et exigeantes qui nécessitent une maitrise des technologies associées. Ces technologies s'appuient sur des concepts qu'il est nécessaire de maîtriser pour leur mise en œuvre raisonnée. Les compétences expérimentales technologiques mobilisées sur l'ensemble des champs thématiques sont ainsi développées.

Cette partie doit notamment permettre aux étudiants de faire des liens entre les différentes parties thématiques du programme et ainsi prendre du recul vis-à-vis des différentes technologies, en identifiant les analogies et les différences.

Les compétences technologiques visées vont au-delà de la maîtrise technique : gestes techniques, maitrise de l'utilisation des outils et appareils, gestion des risques, appropriation de l'environnement du laboratoire, elles intègrent une dimension d'optimisation ou de conception de procédure ou d'éléments de procédure expérimentale.

Les parties concernant la modélisation à partir de nuages de points obtenus par l'expérience sont à mettre en lien avec les mathématiques (fonction hyperbole, fonction linéaire ou affine, fonction exponentielle, fonction logarithmique, régression linéaire ou polynomiale).

NOTIONS & CONCEPTS	COMPÉTENCES ATTENDUES
5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES	
L'extraction de biomolécules nécessite la rupture de l'enveloppe d'une structure d'un matériel biologique. ● Enveloppe cellulaire	► Analyser une procédure opératoire d'extraction pour identifier la ou les étapes clés. ► Réaliser une extraction en suivant une procédure opératoire.
La purification met en jeu une ou plusieurs étapes de séparation de biomolécules. ● Critères de séparation	► Analyser une procédure opératoire de purification pour identifier la ou les étapes clés. ► Réaliser une purification en suivant une procédure opératoire.
La purification entraîne une perte de matière qui doit être évaluée. ● Rendement	► Réaliser les techniques de dosage permettant d'évaluer la qualité d'une purification.
Le degré de pureté peut être évalué quantitativement ou semi-quantitativement. ● Activité / reconnaissance spécifique ● Dosage spécifique ● Évaluation semi-quantitative ● Enrichissement ● Valeur ajoutée d'un produit	► Réaliser des techniques de séparation par électrophorèse semi-quantitative permettant d'évaluer la qualité d'une purification. ► Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer un rendement. ► Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer un enrichissement. ► Analyser les résultats obtenus en fonction de l'objectif.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1 LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES

Les biomolécules peuvent être séparées par une méthode chromatographique choisie en fonction de leur nature biochimique et de la finalité préparative ou analytique. ● Phase stationnaire / phase mobile ● Élution ● Référence ● Identification ● Volume moléculaire / polarité / liaison spécifique / charge de l'ion ● Haute performance	► Expliquer le principe de séparation des biomolécules par une méthode chromatographique. ► Réaliser une chromatographie sur colonne en suivant une procédure opératoire. ► Présenter les arguments pour expliquer l'ordre d'élution des biomolécules d'un mélange. ► Interpréter et exploiter un chromatogramme. ► Analyser la qualité de la séparation en fonction de l'objectif. ► Adapter une technique chromatographique en fonction de l'objectif.
Les biomolécules peuvent être séparées par électrophorèse en fonction de leurs caractéristiques biochimiques. ● Réticulation du gel ● Champ électrique ● Électrode ● Tampon ● Révélation ● Référence ● Taille / charge / forme	► Expliquer le principe de séparation des biomolécules par une méthode électrophorétique. ► Choisir les conditions expérimentales permettant la séparation de biomolécules dans des conditions données. ► Réaliser une électrophorèse en suivant une procédure opératoire. ► Interpréter et exploiter un électrophorégramme. ► Adapter une technique électrophorétique en fonction de l'objectif.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE

L'analyse quantitative d'un échantillon peut être réalisée grâce à un dosage spectrophotométrique. ● Absorbance ● Spectre d'absorption ● Matériaux des cuves ● Étalonnage ● Domaine de mesurage ● Limite de linéarité ● Sensibilité de la méthode ● « Témoin/blanc » échantillon ● « Témoin/blanc » réactif	► Analyser une procédure opératoire de dosage spectrophotométrique pour identifier les paramètres clés ou les points critiques. ► Choisir la longueur d'onde optimale à partir d'un spectre d'absorption. ► Choisir le type de cuve adapté à la procédure opératoire. ► Établir un tableau de procédure opératoire de construction de gamme d'étalonnage. ► Déterminer la prise d'essai d'un échantillon biologique pour être dans le domaine de mesurage. ► Exercer un regard critique pour valider les points expérimentaux de la gamme d'étalonnage. ► Déterminer une quantité ou une concentration à l'aide d'une régression linéaire. ► Établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques pour calculer une concentration dans un produit biologique. ► Concevoir une procédure opératoire permettant le dosage d'un échantillon.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION

5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES

Les interactions spécifiques permettent la détection et la quantification de biomolécules dans un milieu complexe. ● Spécificité ● Phase hétérogène / phase homogène ● Immunodétection / hybridation ● Activité biologique ● Immunoenzymatique	► Comparer Southern, northern et western blot. ► Exploiter des résultats expérimentaux de Southern, northern et western blot. ► Détecter ou quantifier spécifiquement une molécule dans un milieu complexe en suivant une procédure opératoire.
L'amplification ciblée et spécifique d'une séquence nucléotidique peut permettre l'identification d'un amplicon et/ou la quantification de la séquence matrice d'origine. ● Spécificité ● PCR / RT-PCR / qPCR	► Réaliser l'amplification par PCR d'une séquence nucléotidique en suivant une procédure opératoire.

● Amplicon	

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.2. L'HYBRIDATION MOLÉCULAIRE, UNE ASSOCIATION SPÉCIFIQUE DE SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE

5.5. OBSERVATION, DESCRIPTION ET CARACTÉRISATION D'UN OBJET

L'observation microscopique d'un microorganisme ou d'une cellule permet de le décrire pour l'identifier. ● Critères de différenciation ● Luminosité ● Fluorescence ● Optique ● Dessin / schéma ● Grossissement ● Mise au point	► Réaliser une coloration, différentielle ou non, adaptée aux structures à observer. ► Choisir l'objectif du microscope en fonction des particularités de l'objet à observer. ► Effectuer la mise au point et choisir le champ pour observer une cellule. ► Rendre compte avec concision d'une observation par un dessin, un schéma ou une description. ► Présenter les caractéristiques de l'objet à l'aide des critères pertinents.
L'observation macroscopique d'une colonie ou d'un clone sur un milieu permet de caractériser pour identifier ou pour sélectionner une souche d'intérêt. ● Critères macroscopiques ● Identification ● Plurimicrobien / souche pure ● Milieu d'orientation ● Différenciation ● Révélateur ● Clone / colonie ● Sélection	► Réaliser un isolement sur milieu solide à partir d'une suspension. ► Réaliser un étalement d'une suspension de microorganismes. ► Décrire avec concision une observation macroscopique de colonies. ► Décrire avec précision la couleur observée, pour orienter l'identification d'une colonie, sélectionner un clone, déterminer le virage d'un indicateur coloré.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE

5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES

La culture d'un microorganisme nécessite de prendre en compte les caractéristiques de celui-ci, les conditions de culture et l'objectif visé. ● Type trophique ● Milieu de culture / atmosphère de culture ● Isolement / enrichissement / sélection / identification / production	► Réaliser une culture de microorganismes en suivant une procédure opératoire. ► Choisir un milieu et des conditions de culture en fonction des besoins nutritionnels et des exigences physico-chimiques des microorganismes, ainsi que de l'objectif suivi.
La quantification d'une population microbienne permet d'estimer sa concentration dans un milieu. ● Cellules totales / viables / viables non cultivables ● Seuil de quantification ● Facteur de proportionnalité	► Réaliser une quantification de microorganismes en suivant une procédure opératoire. ► Choisir une technique de quantification en fonction des contraintes et de l'objectif visé. ► Adapter un protocole opératoire permettant d'estimer la concentration cellulaire d'une population microbienne dans un échantillon en fonction de l'objectif.

<u>À TRAITER EN LIEN AVEC :</u>

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE

5.7. MODÉLISATION EN BIOTECHNOLOGIES

Les phénomènes biologiques peuvent être modélisés afin de faciliter leur exploitation, leur analyse et leur optimisation. ● Modélisation ● Grandeur caractéristique d'un système	► Utiliser une modélisation mathématique pour établir les équations aux grandeurs, aux unités, aux valeurs numériques et calculer les grandeurs spécifiques d'un système.
L'outil informatique facilite le traitement des données. ● Bio-informatique ● Banque de données ● Logiciel de traitement de données	► Rechercher une séquence ou un domaine fonctionnel à l'aide d'un logiciel ou d'une banque de données en suivant une procédure opératoire. ► Traiter et exploiter des données expérimentales à l'aide de l'outil numérique.

<u>À TRAITER EN LIEN AVEC :</u>

- 1.3. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT DES INTERACTIONS SPÉCIFIQUES AVEC D'AUTRES CONSTITUANTS
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES

5.8. CHOIX ET OPTIMISATION D'UNE MÉTHODE

Le choix d'une méthode pour analyser ou préparer des biomolécules nécessite d'identifier les critères adaptés. ● Performance du résultat ● Justesse / fidélité ● Sensibilité ● Seuil de détection / de quantification ● Spécificité ● Robustesse ● Rendement ● Contraintes techniques ● Coût	► Présenter des arguments en faveur d'une technique en fonction de ses performances et des objectifs. ► Mener une analyse comparative de différentes procédures opératoires à l'aide des critères pertinents en fonction de la finalité.
La mise en œuvre d'une procédure opératoire doit être vérifiée. ● Témoin d'efficacité / témoin négatif	► Analyser la procédure opératoire pour identifier le composant à introduire ou à remplacer lors de l'élaboration d'un témoin. ► Concevoir un témoin d'efficacité à partir d'une procédure opératoire. ► Concevoir un témoin négatif à partir d'une procédure opératoire.
L'amélioration d'une procédure nécessite d'optimiser certaines étapes. ● Point critique ● Conjecture / hypothèse	► Analyser la procédure opératoire pour identifier les points critiques. ► Mettre en œuvre une procédure opératoire pour objectiver un point critique. ► Proposer une solution pour améliorer une procédure au niveau d'un point critique. ► Argumenter une solution pour améliorer une procédure au niveau d'un point critique.
La mise en œuvre d'une méthode utilisant ou modifiant le vivant doit se faire avec esprit critique et dans le respect la règlementation. ● Balance bénéfice-risque ● Modification du génome ● Transmission héréditaire	► Argumenter un choix de méthode à l'aide d'arguments scientifiques et techniques, éthiques et environnementaux.

<u>À TRAITER EN LIEN AVEC :</u>

- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES

5.9. DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES

En biotechnologies, la démarche de prévention des risques est essentielle. Elle débute par une analyse et une évaluation des risques biologiques et des risques chimiques. Elle se poursuit par la détermination des mesures de prévention et leur mise en œuvre en situation. ● Danger ● Risque ● Situation exposante ● Évènement déclenchant ● Mesures de prévention ● Protection individuelle ● Protection collective ● Classe de danger ● Groupe d'agents biologiques	► Analyser la procédure opératoire pour identifier les dangers auxquels le manipulateur est exposé. ► Conduire une évaluation des risques chimiques à l'aide des fiches de données de sécurité. ► Proposer des mesures de prévention permettant de réduire voire de supprimer le risque. ► Conduire une évaluation des risques biologiques en étudiant les réservoirs et les chaines de transmission. ► Expliquer le classement d'un microorganisme dans un groupe d'agents biologiques. ► Conduire une démarche d'analyse des risques en vue de choisir les mesures de prévention.

À TRAITER EN LIEN AVEC :

- 1.1. LES PROTÉINES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 1.2. LA PURIFICATION DES PROTÉINES, UNE DÉMARCHE À CONTRÔLER
- 2.2. LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES PRÉSENTANT UNE ACTIVITÉ CATALYTIQUE
- 2.3. LES ENZYMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 3.1. LE MONDE MICROBIEN, UNITÉ ET DIVERSITÉ
- 3.2. LA DIVERSITÉ DES MÉTABOLISMES MICROBIENS, UN INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE
- 3.3. LES MICROORGANISMES, DES OUTILS BIOTECHNOLOGIQUES
- 4.1. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES DONT LES CARACTÉRISTIQUES CONDITIONNENT L'EXTRACTION ET LA PURIFICATION
- 4.3. L'AMPLIFICATION *IN VITRO* DES SÉQUENCES NUCLÉOTIDIQUES, DES POLYMÉRISATIONS EN CHAÎNE
- 4.5. LES ACIDES NUCLÉIQUES, DES BIOMOLÉCULES MANIPULABLES PAR GÉNIE GÉNÉTIQUE
- 5.1. EXTRACTION ET PURIFICATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.2. SÉPARATION DE BIOMOLÉCULES
- 5.3. ANALYSE D'UN ÉCHANTILLON PAR DOSAGE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE
- 5.4. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION SPÉCIFIQUE DE BIOMOLÉCULES
- 5.5. OBSERVATION D'UN OBJET OU D'UNE RÉACTION EN VUE DE SA DESCRIPTION PUIS DE SA CARACTÉRISATION
- 5.6. CULTURE ET QUANTIFICATION DES MICROORGANISMES