

Guide de biologie

Première évaluation en 2016



Guide de biologie

Première évaluation en 2016

Programme du diplôme Guide de biologie

Version française de l'ouvrage publié originalement en anglais
en février 2014 sous le titre *Biology guide*

Publié en février 2014
Mis à jour en août 2015, en octobre 2017 et en août 2018

Publié pour le compte de l'Organisation du Baccalauréat International, fondation éducative à but non lucratif
sise 15 Route des Morillons, CH-1218 Le Grand-Saconnex, Genève, Suisse, par

International Baccalaureate Organization (UK) Ltd
Peterson House, Malthouse Avenue, Cardiff Gate
Cardiff, Pays de Galles CF23 8GL
Royaume-Uni
Site Web : www.ibo.org

© Organisation du Baccalauréat International 2014

L'Organisation du Baccalauréat International (couramment appelée l'IB) propose quatre programmes d'éducation stimulants et de grande qualité à une communauté mondiale d'établissements scolaires, dans le but de bâtir un monde meilleur et plus paisible. Cette publication fait partie du matériel publié pour appuyer la mise en œuvre de ces programmes.

L'IB peut être amené à utiliser des sources variées dans ses travaux, mais vérifie toujours l'exactitude et l'authenticité des informations employées, en particulier dans le cas de sources participatives telles que Wikipédia. L'IB respecte les principes de la propriété intellectuelle et s'efforce toujours d'identifier les détenteurs des droits relatifs à tout matériel protégé par le droit d'auteur et d'obtenir d'eux, avant publication, l'autorisation de réutiliser ce matériel. L'IB tient à remercier les détenteurs de droits d'auteur qui ont autorisé la réutilisation du matériel apparaissant dans cette publication et s'engage à rectifier dans les meilleurs délais toute erreur ou omission.

Le générique masculin est utilisé ici sans aucune discrimination et uniquement pour alléger le texte.

Dans le respect de l'esprit international cher à l'IB, le français utilisé dans le présent document se veut mondial et compréhensible par tous, et non propre à une région particulière du monde.

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche documentaire, ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, sans autorisation écrite préalable de l'IB ou sans que cela ne soit expressément autorisé par la loi ou par la politique et le règlement de l'IB en matière d'utilisation de sa propriété intellectuelle. Veuillez consulter à cet effet la page <http://www.ibo.org/fr/copyright>.

Vous pouvez vous procurer les articles et les publications de l'IB par l'intermédiaire du magasin en ligne de l'IB sur le site <http://store.ibo.org>.

Courriel : sales@ibo.org

Déclaration de mission de l'IB

Le Baccalauréat International a pour but de développer chez les jeunes la curiosité intellectuelle, les connaissances et la sensibilité nécessaires pour contribuer à bâtir un monde meilleur et plus paisible, dans un esprit d'entente mutuelle et de respect interculturel.

À cette fin, l'IB collabore avec des établissements scolaires, des gouvernements et des organisations internationales pour mettre au point des programmes d'éducation internationale stimulants et des méthodes d'évaluation rigoureuses.

Ces programmes encouragent les élèves de tout pays à apprendre activement tout au long de leur vie, à être empreints de compassion, et à comprendre que les autres, en étant différents, puissent aussi être dans le vrai.



Profil de l'apprenant de l'IB

Tous les programmes de l'IB ont pour but de former des personnes sensibles à la réalité internationale, conscientes des liens qui unissent entre eux les humains, soucieuses de la responsabilité de chacun envers la planète et désireuses de contribuer à l'édification d'un monde meilleur et plus paisible.

En tant qu'apprenants de l'IB, nous nous efforçons d'être :

CHERCHEURS

Nous cultivons notre curiosité tout en développant des capacités d'investigation et de recherche. Nous savons apprendre indépendamment et en groupe. Nous apprenons avec enthousiasme et nous conservons notre plaisir d'apprendre tout au long de notre vie.

INFORMÉS

Nous développons et utilisons une compréhension conceptuelle, en explorant la connaissance dans un ensemble de disciplines. Nous nous penchons sur des questions et des idées qui ont de l'importance à l'échelle locale et mondiale.

SENSÉS

Nous utilisons nos capacités de réflexion critique et créative, afin d'analyser des problèmes complexes et d'entreprendre des actions responsables. Nous prenons des décisions réfléchies et éthiques de notre propre initiative.

COMMUNICATIFS

Nous nous exprimons avec assurance et créativité dans plus d'une langue ou d'un langage et de différentes façons. Nous écoutons également les points de vue d'autres individus et groupes, ce qui nous permet de collaborer efficacement avec eux.

INTÈGRES

Nous adhérons à des principes d'intégrité et d'honnêteté, et possédons un sens profond de l'équité, de la justice et du respect de la dignité et des droits de chacun, partout dans le monde. Nous sommes responsables de nos actes et de leurs conséquences.

OUVERTS D'ESPRIT

Nous portons un regard critique sur nos propres cultures et expériences personnelles, ainsi que sur les valeurs et traditions d'autrui. Nous recherchons et évaluons un éventail de points de vue et nous sommes disposés à en tirer des enrichissements.

ALTRUISTES

Nous faisons preuve d'empathie, de compassion et de respect. Nous accordons une grande importance à l'entraide et nous œuvrons concrètement à l'amélioration de l'existence d'autrui et du monde qui nous entoure.

AUDACIEUX

Nous abordons les incertitudes avec discernement et détermination. Nous travaillons de façon autonome et coopérative pour explorer de nouvelles idées et des stratégies innovantes. Nous sommes ingénieux et nous savons nous adapter aux défis et aux changements.

ÉQUILIBRÉS

Nous accordons une importance équivalente aux différents aspects de nos vies – intellectuel, physique et affectif – dans l'atteinte de notre bien-être personnel et de celui des autres. Nous reconnaissons notre interdépendance avec les autres et le monde dans lequel nous vivons.

RÉFLÉCHIS

Nous abordons de manière réfléchie le monde qui nous entoure, ainsi que nos propres idées et expériences. Nous nous efforçons de comprendre nos forces et nos faiblesses afin d'améliorer notre apprentissage et notre développement personnel.

Le profil de l'apprenant de l'IB incarne dix qualités mises en avant par les écoles du monde de l'IB. Nous sommes convaincus que ces qualités, et d'autres qui leur sont liées, peuvent aider les individus à devenir des membres responsables au sein des communautés locales, nationales et mondiales.

Table des matières

Introduction	1
Objet de ce document	1
Le Programme du diplôme	2
Nature de la science	7
Nature de la biologie	15
Objectifs globaux	20
Objectifs d'évaluation	21
Programme	22
Résumé du programme	22
Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la biologie	23
Contenu du programme	28
Évaluation	158
L'évaluation dans le Programme du diplôme	158
Résumé de l'évaluation – NM	161
Résumé de l'évaluation – NS	162
Évaluation externe	163
Évaluation interne	165
Le projet du groupe 4	179
Annexes	184
Glossaire des mots-consignes	184
Bibliographie	186

Objet de ce document

Cette publication a pour but de guider la planification, l'enseignement et l'évaluation de la matière dans les établissements scolaires. Elle s'adresse avant tout aux enseignants concernés, même si ces derniers l'utiliseront également pour fournir aux élèves et à leurs parents des informations sur la matière.

Ce guide est disponible sur la page du Centre pédagogique en ligne (CPEL) consacrée à cette matière, à l'adresse <http://occ.ibo.org>. Le CPEL est un site Web à accès protégé par mot de passe, conçu pour les enseignants des programmes de l'IB. Il est également en vente sur le site du magasin de l'IB, accessible en ligne à l'adresse <http://store.ibo.org>.

Ressources complémentaires

D'autres publications, telles que du matériel de soutien pédagogique, des rapports pédagogiques, des instructions concernant l'évaluation interne et des descripteurs de notes finales se trouvent également sur le CPEL.

Les enseignants sont encouragés à consulter régulièrement le CPEL où ils pourront trouver des ressources complémentaires créées ou utilisées par d'autres enseignants. Ils pourront également y ajouter des informations sur des ressources qu'ils ont trouvées utiles, telles que des sites Web, des ouvrages de référence, des vidéos, des revues ou des idées d'ordre pédagogique.

Remerciements

L'IB tient à remercier les professionnels de l'éducation et leurs établissements respectifs pour la généreuse contribution qu'ils ont apportée à l'élaboration de ce guide en termes de temps et de ressources.

Première évaluation en 2016

Le Programme du diplôme

Le Programme du diplôme est un programme d'études pré-universitaires rigoureux qui s'étend sur deux ans et s'adresse aux jeunes de 16 à 19 ans. Il couvre une grande sélection de domaines d'études et a pour but d'encourager les élèves, non seulement à développer leurs connaissances, mais également à faire preuve de curiosité intellectuelle ainsi que d'altruisme et de compassion. Ce programme insiste fortement sur le besoin de favoriser chez les élèves le développement de la compréhension interculturelle, de l'ouverture d'esprit et des attitudes qui leur seront nécessaires pour apprendre à respecter et évaluer tout un éventail de points de vue.

Le modèle du Programme du diplôme

Le programme est divisé en six domaines d'études, répartis autour d'un noyau de composantes obligatoires ou tronc commun (voir figure 1). Cette structure favorise l'étude simultanée d'une palette de domaines d'études. Ainsi, les élèves étudient deux langues vivantes (ou une langue vivante et une langue classique), une matière de sciences humaines ou de sciences sociales, une matière scientifique, les mathématiques et une discipline artistique. C'est ce vaste éventail de matières qui fait du Programme du diplôme un programme d'études exigeant conçu pour préparer efficacement les élèves à leur entrée à l'université. Une certaine flexibilité est néanmoins accordée aux élèves dans leur choix de matières au sein de chaque domaine d'études. Ils peuvent ainsi opter pour des matières qui les intéressent tout particulièrement et qu'ils souhaiteront peut-être continuer à étudier à l'université.



Figure 1

Modèle du Programme du diplôme

Choix de la bonne combinaison

Les élèves doivent choisir une matière dans chaque domaine d'études. Ils ont cependant la possibilité de choisir deux matières dans un même domaine d'études à la place d'une matière artistique. En principe, trois matières (et quatre au plus) doivent être présentées au niveau supérieur (NS) et les autres au niveau moyen (NM). L'IB recommande 240 heures d'enseignement pour les matières du NS et 150 heures pour celles du NM. Au NS, l'étude des matières est plus étendue et plus approfondie qu'au NM.

De nombreuses compétences sont développées à ces deux niveaux, en particulier les compétences d'analyse et de réflexion critique. À la fin du programme, les aptitudes des élèves sont mesurées au moyen d'une évaluation externe. Dans de nombreuses matières, l'évaluation finale comprend également une part de travaux dirigés évalués directement par les enseignants.

Le tronc commun du programme

Tous les élèves du Programme du diplôme prennent part aux trois composantes obligatoires qui constituent le tronc commun du programme.

Le cours de théorie de la connaissance (TdC) demande essentiellement aux élèves de mener une réflexion critique et de réfléchir sur le processus cognitif plutôt que d'apprendre un ensemble de connaissances spécifiques. Il amène les élèves à explorer la nature de la connaissance et à examiner comment nous connaissons ce que nous affirmons connaître. Pour ce faire, il les incite à analyser des assertions et à explorer des questions relatives à la construction de la connaissance. La TdC met l'accent sur les liens entre les différents domaines des connaissances partagées et les relie aux connaissances personnelles de telle sorte que l'individu prenne conscience de ses propres perspectives et de la façon dont elles peuvent différer de celles d'autrui.

Le programme créativité, action, service (CAS) est au cœur du Programme du diplôme. Il s'attache à aider les élèves à développer leur propre identité en accord avec les principes éthiques exprimés dans la déclaration de mission de l'IB et dans le profil de l'apprenant de l'IB. Il implique les élèves dans un éventail d'activités tout au long de leurs études dans le Programme du diplôme. Le programme CAS est constitué de trois composantes : créativité (arts et autres expériences impliquant la pensée créative), action (activité physique contribuant à un style de vie sain) et service (un échange volontaire et non rémunéré enrichissant l'apprentissage de l'élève). Le Programme CAS contribue probablement plus que toute autre composante du Programme du diplôme à la mission de l'IB, qui est de bâtir un monde meilleur et plus paisible, dans un esprit d'entente mutuelle et de respect interculturel.

Le mémoire, y compris le mémoire en étude du monde contemporain, est un travail de recherche indépendant de 4 000 mots maximum permettant aux élèves d'étudier un sujet qui les intéresse tout particulièrement. Les élèves peuvent choisir le domaine dans lequel ils entreprendront leurs recherches parmi les matières du Programme du diplôme qu'ils étudient, ou parmi deux matières dans le cas du mémoire interdisciplinaire en étude du monde contemporain. Cette composante leur offre également l'occasion de se familiariser avec les techniques de recherche individuelle et de rédaction requises au niveau universitaire. Ces recherches aboutissent à la production d'un important travail écrit, structuré et présenté de manière formelle. Les idées et les découvertes de l'élève y sont présentées avec cohérence sous la forme d'un raisonnement adapté à la ou aux matières choisies. Il vise à promouvoir des compétences de recherche et d'écriture de haut niveau, la découverte intellectuelle et la créativité. Il fournit une expérience d'apprentissage authentique aux élèves et leur offre l'occasion de se lancer dans une recherche personnelle sur le sujet de leur choix, sous la direction d'un superviseur.

Approches de l'enseignement et approches de l'apprentissage

Les approches de l'enseignement et de l'apprentissage dans le Programme du diplôme désignent des stratégies, des compétences et des attitudes déterminées imprégnant l'environnement d'enseignement et d'apprentissage. Ces outils et approches, intrinsèquement liés aux qualités du profil de l'apprenant, consolident l'apprentissage des élèves et les aident à se préparer à l'évaluation dans le cadre du Programme du diplôme et au-delà. Les approches de l'enseignement et de l'apprentissage dans le Programme du diplôme visent à :

- permettre aux enseignants de concevoir leur rôle comme celui de formateur d'apprenants autant que d'enseignant de contenus ;
- donner aux enseignants la possibilité de mettre en place des stratégies plus claires pour que les expériences d'apprentissage des élèves leur permettent de s'impliquer davantage et de façon plus significative dans la recherche structurée et la pensée critique et créative ;
- promouvoir les objectifs globaux de chaque matière (en les réduisant moins à de simples aspirations pour le cours) ainsi que la mise en relation de connaissances préalablement isolées (simultanéité des apprentissages) ;
- encourager les élèves à développer un éventail explicite de compétences de façon à les doter d'outils leur permettant de continuer à s'instruire activement après leur départ de l'établissement et à les aider, non seulement à obtenir de meilleurs résultats pour être admis à l'université, mais aussi à les préparer à réussir dans leurs études supérieures et au-delà ;
- renforcer davantage la cohérence et la pertinence de l'expérience du Programme du diplôme pour les élèves ;
- permettre aux établissements d'identifier ce qui fait le propre de l'éducation du Programme du diplôme de l'IB, avec son mélange d'idéalisme et d'approches pratiques.

Les cinq approches de l'apprentissage (compétences de réflexion, compétences sociales, compétences de communication, compétences d'autogestion et compétences de recherche) et les six approches de l'enseignement (un enseignement basé sur la recherche, inspiré par des concepts, mis en contexte, coopératif, différencié et reposant sur l'évaluation) couvrent les valeurs et les principes fondamentaux qui sous-tendent la pédagogie de l'IB.

La déclaration de mission de l'IB et le profil de l'apprenant de l'IB

Le Programme du diplôme vise à développer chez les élèves les connaissances, les compétences et les attitudes dont ils auront besoin pour atteindre les objectifs établis par l'IB, tels que définis dans la déclaration de mission de l'organisation et dans le profil de l'apprenant. Ainsi, l'enseignement et l'apprentissage dans le Programme du diplôme sont la concrétisation quotidienne de la philosophie pédagogique de l'organisation.

Intégrité en milieu scolaire

L'intégrité en milieu scolaire dans le Programme du diplôme est un ensemble de valeurs et de comportements reposant sur les qualités du profil de l'apprenant. Dans le cadre de l'enseignement, de l'apprentissage et de l'évaluation, l'intégrité en milieu scolaire permet de promouvoir l'intégrité de chacun, de susciter le respect de l'intégrité d'autrui et de leur travail, et de garantir que tous les élèves ont la même possibilité de démontrer les connaissances et les compétences qu'ils acquièrent au cours de leurs études.

Tous les travaux, notamment les travaux soumis à l'évaluation, doivent être authentiques et basés sur les propres idées de l'élève et doivent clairement identifier le travail et les idées empruntés à autrui. Les tâches d'évaluation qui exigent des enseignants qu'ils fournissent des conseils aux élèves ou qui exigent des élèves un travail en groupe doivent être réalisées conformément aux directives détaillées fournies par l'IB pour la matière concernée.

Pour obtenir de plus amples informations sur l'intégrité en milieu scolaire au sein de l'IB et du Programme du diplôme, veuillez consulter les publications de l'IB intitulées *Intégrité en milieu scolaire* (2011), *Le Programme du diplôme : des principes à la pratique* (2009) et *Règlement général du Programme du diplôme* (2011). Ce guide contient des informations spécifiques relatives à l'intégrité en milieu scolaire telle qu'elle s'applique aux composantes d'évaluation externe et interne de cette matière du Programme du diplôme.

Mention des sources des idées ou des travaux empruntés à autrui

Il est rappelé aux coordonnateurs et aux enseignants que les candidats doivent citer toutes les sources utilisées dans les travaux soumis à l'évaluation. Les informations fournies ci-après visent à clarifier cette exigence.

Les travaux que les candidats du Programme du diplôme remettent pour l'évaluation se présentent sous diverses formes et peuvent inclure des supports tels que du matériel audiovisuel, des textes, des graphiques, des images et/ou des données provenant de sources imprimées ou électroniques. Si un candidat utilise les travaux ou les idées d'une autre personne, il doit en citer la source en appliquant de manière systématique une méthode conventionnelle de mention des sources. Tout candidat ne respectant pas cette exigence sera soupçonné d'avoir commis une infraction au règlement. L'IB mènera alors une enquête qui pourra donner lieu à l'application d'une sanction par le comité d'attribution des notes finales de l'IB.

L'IB ne prescrit pas de méthode particulière à imposer aux candidats en ce qui concerne la mention des sources ou la présentation des citations au sein du texte ; cette décision est laissée à la discrétion des membres du personnel ou du corps enseignant concernés de l'établissement. En raison du large éventail de matières, des trois langues d'usage et de la diversité des méthodes de mention des sources, il serait irréalisable et restrictif de privilégier l'emploi de méthodes particulières. Dans la pratique, certaines méthodes sont plus largement utilisées, mais les établissements sont libres de choisir une méthode adaptée à la matière concernée et à la langue dans laquelle les candidats rédigent leur travail. Quelle que soit la méthode adoptée par l'établissement pour une matière donnée, il est attendu des élèves qu'ils fournissent au minimum les informations suivantes : le nom de l'auteur, la date de publication, le titre de la source et les numéros de page, selon le cas.

Les candidats doivent utiliser une méthode conventionnelle et l'appliquer de manière systématique afin de citer toutes les sources utilisées, y compris les sources paraphrasées ou résumées. Lors de la rédaction d'un texte, les candidats doivent établir une distinction nette entre leurs propres idées et celles empruntées à autrui, en utilisant des guillemets (ou tout autre moyen tel que la mise en retrait du texte) suivis d'une citation adaptée renvoyant à une référence dans la bibliographie. Si une source électronique est citée, la date de consultation doit impérativement être précisée. Il n'est pas attendu des candidats qu'ils maîtrisent parfaitement l'utilisation des méthodes de mention des sources. En revanche, ils doivent démontrer qu'ils ont bien cité toutes les sources utilisées. Les candidats doivent être informés qu'ils sont tenus d'identifier l'origine du matériel audiovisuel, des textes, des graphiques, des images et/ou des données provenant de sources imprimées ou électroniques dont ils ne sont pas l'auteur. Là encore, ils doivent utiliser une méthode adéquate de mention/citation des sources.

Diversité d'apprentissage et soutien en matière d'apprentissage

Les établissements doivent s'assurer que les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage bénéficient d'aménagements raisonnables leur garantissant l'égalité de l'accès aux programmes de l'IB, conformément aux documents de l'IB intitulés *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* et *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International*.

Nature de la science

La nature de la science est un thème fondamental dans les cours de biologie, chimie et physique. Cette section, intitulée « Nature de la science », figure dans les guides de biologie, de chimie et de physique, afin d'aider les enseignants à comprendre la signification de ce terme. Elle fournit une description exhaustive de la nature de la science au XXI^e siècle. Il est toutefois impossible de traiter en détail tous les thèmes des trois cours de sciences dans cette section, tant en termes d'enseignement que d'évaluation.

Cette section est structurée en paragraphes (1.1, 1.2, etc.) afin de relier les points importants aux références à la nature de la science dans le programme (pages en mode « Paysage »). Dans la section « Contenu du programme », les parties sur la nature de la science fournissent des exemples de compréhensions particulières. Les énoncés sur la nature de la science précédant chaque sujet expliquent comment illustrer un ou plusieurs thèmes de la nature de la science à l'aide des sections présentant les notions clés, applications et compétences de ce sujet. Ils ne reprennent pas les énoncés sur la nature de la science présentés ci-après, mais les développent dans un contexte spécifique (voir la section « Structure du programme »).

Technologie

Bien que cette section porte sur la nature de la science, il est important de préciser notre interprétation du terme « technologie », et de clarifier le rôle de la technologie qui émerge de la science et contribue à l'évolution de cette dernière. De nos jours, les mots « science » et « technologie » sont souvent utilisés indifféremment. Cela n'a toutefois pas toujours été le cas. La technologie est apparue avant la science. Par le passé, les matériaux étaient utilisés pour confectionner des objets utiles ou décoratifs, et ce, bien avant que nous comprenions qu'ils ont des propriétés différentes permettant de les utiliser à diverses fins. Dans le monde moderne, c'est l'inverse qui se passe : une compréhension de la science sous-tendant la technologie est à la base des développements technologiques. Les nouvelles technologies entraînent à leur tour des progrès scientifiques.

Malgré leur dépendance réciproque, la science et la technologie sont fondées sur des valeurs différentes : la première sur les preuves, la rationalité et la recherche d'une meilleure compréhension ; la seconde sur le côté pratique, la pertinence et l'utilité, avec une insistance croissante sur la durabilité.

1. Qu'est-ce que la science et qu'est-ce que la recherche scientifique ?

- 1.1. En science, l'hypothèse sous-jacente est que l'univers a une réalité externe et indépendante, qui peut être perçue par les sens et saisie par la raison.
- 1.2. Les sciences pures s'efforcent d'arriver à une compréhension commune de cet univers externe, tandis que les sciences appliquées et l'ingénierie créent des technologies à l'origine de nouveaux processus et produits. Les limites entre ces domaines sont toutefois floues.
- 1.3. Les scientifiques utilisent une grande variété de méthodes qui forment collectivement le processus scientifique. Il n'existe pas de « méthode scientifique » unique. Les scientifiques ont utilisé différentes méthodes à différentes époques, et continuent à le faire, afin d'accumuler des connaissances et des idées, mais ils ont une compréhension commune de ce qui les rend toutes scientifiquement valables.

1. 4. Il s'agit d'une aventure passionnante et stimulante requérant beaucoup de créativité et d'imagination ainsi qu'une réflexion rigoureuse et approfondie et une application précise et minutieuse. Les scientifiques doivent également s'attendre à faire des découvertes inopinées, surprenantes et fortuites. L'histoire de la science montre que cela arrive très fréquemment.
1. 5. Bon nombre de découvertes scientifiques procèdent d'une intuition et beaucoup d'autres sont le résultat d'une spéculation ou d'une simple curiosité concernant des phénomènes particuliers.
1. 6. Les scientifiques ont une terminologie commune ainsi qu'un raisonnement commun qui fait appel à la logique déductive et inductive en recourant aux analogies et aux généralisations. Ils utilisent tous un outil puissant : les mathématiques, également appelées « langage de la science ». En effet, certaines explications scientifiques n'existent que sous une forme mathématique.
1. 7. Les scientifiques doivent adopter une attitude sceptique face aux assertions. Cela ne signifie pas qu'ils doivent se montrer incrédules à l'égard de toute chose, mais plutôt qu'ils doivent suspendre leur jugement jusqu'à ce qu'ils aient une bonne raison de croire en l'exactitude ou la fausseté d'une assertion. Ces raisons doivent être fondées sur des preuves et des arguments.
1. 8. L'importance des preuves est une notion commune et fondamentale. Les preuves peuvent être obtenues au moyen de l'observation ou de l'expérience. Elles peuvent être rassemblées en utilisant nos sens, et notamment la vue, mais une grande partie des recherches scientifiques modernes sont menées en se servant d'une instrumentation et de sondes ou capteurs capables de recueillir des données à distance et automatiquement dans des lieux trop confinés, trop éloignés ou imperceptibles par nos sens. L'amélioration de l'instrumentation et les nouvelles technologies ont souvent été à l'origine de nouvelles découvertes. Les observations, suivies d'une analyse et d'une déduction, ont mené à la théorie du big-bang sur l'origine de l'univers ainsi qu'à la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. Dans ces deux cas, il était impossible de faire des expériences de contrôle. Certaines disciplines, telles que la géologie et l'astronomie, s'appuient fortement sur le recueil de données sur le terrain, mais toutes les disciplines utilisent, dans une certaine mesure, l'observation pour rassembler des preuves. L'expérimentation dans un environnement contrôlé – généralement un laboratoire – est une autre façon de se procurer des preuves sous forme de données, et elle est régie par de nombreux accords et conventions.
1. 9. Les preuves sont utilisées pour élaborer des théories, faire des généralisations à partir des données pour énoncer des lois et proposer des hypothèses. Ces théories et hypothèses sont utilisées pour formuler des prédictions qui peuvent être vérifiées. Les théories peuvent ainsi être confirmées ou réfutées, puis être modifiées ou remplacées par de nouvelles théories.
1. 10. En se fondant sur une compréhension théorique, les scientifiques élaborent des modèles, simples ou très complexes, pour expliquer les processus qui ne peuvent être observés. Ils se servent de modèles mathématiques réalisés sur ordinateur pour formuler des prédictions vérifiables, ce qui peut se révéler très utile lorsque l'expérimentation n'est pas possible. Les modèles testés au moyen d'expériences ou de données issues d'observations peuvent s'avérer inadéquats, auquel cas ils peuvent être modifiés ou remplacés par d'autres modèles.
1. 11. Les résultats des expériences, ainsi que les connaissances acquises grâce à la modélisation et aux observations du monde naturel, peuvent être utilisés comme des preuves supplémentaires pour vérifier une assertion.
1. 12. Les performances croissantes des ordinateurs ont rendu la modélisation bien plus puissante. Les modèles, généralement mathématiques, sont maintenant utilisés pour arriver à de nouvelles compréhensions quand une expérience ne peut être effectuée (et parfois aussi quand elle peut l'être). Cette modélisation dynamique de situations complexes, qui fait appel à de grandes quantités de données ainsi qu'à un grand nombre de variables et de calculs longs et complexes, n'est possible que grâce à l'augmentation de la puissance des ordinateurs. La modélisation du climat terrestre, par exemple, est utilisée pour prévoir les conditions climatiques futures ou pour faire une gamme de projections climatiques. Il existe un éventail de modèles dans ce domaine et les résultats obtenus à partir de ces différents modèles ont

été comparés afin de déterminer quels modèles sont les plus exacts. Les modèles peuvent parfois être testés en utilisant des données anciennes pour déterminer s'ils peuvent prévoir la situation actuelle. Lorsque le modèle passe ce test, nous sommes sûrs de son exactitude.

1. 13. Les idées et les processus scientifiques ne peuvent exister que dans un contexte humain. La recherche scientifique est menée par une communauté d'individus issus de traditions et de milieux très divers, et cela a manifestement influencé la façon dont la science a progressé à différentes époques. Il est toutefois important de comprendre que « faire de la science » signifie faire partie d'une communauté de recherche qui partage certains principes, méthodes, compréhensions et processus.

2. La compréhension de la science

- 2.1. Les théories, les lois et les hypothèses sont des concepts utilisés par les scientifiques. Bien que ces concepts soient liés, il n'y a aucune progression de l'un à l'autre. Ces termes ont une signification particulière en science et il est important d'établir une distinction avec l'usage qui en est fait au quotidien.
- 2.2. Les théories sont elles-mêmes des modèles intégrés et complets de la façon dont l'univers ou certaines parties de l'univers fonctionnent. Une théorie peut comprendre des faits, des lois et des hypothèses vérifiées. Des prédictions peuvent être faites à partir des théories et elles peuvent être vérifiées à l'aide d'expériences ou d'observations attentives. On peut citer en exemple la théorie des germes ou la théorie atomique.
- 2.3. Les théories tiennent généralement compte des hypothèses et des prémisses d'autres théories, créant ainsi une compréhension cohérente de tout un éventail de phénomènes dans différentes disciplines. Il arrive cependant qu'une nouvelle théorie change radicalement la façon dont les concepts essentiels sont compris ou élaborés, impactant les autres théories et entraînant ce que l'on appelle parfois un « changement de paradigme » en science. L'un des changements de paradigmes scientifiques les plus connus a eu lieu lorsque notre conception du temps est passée d'un référentiel absolu à un référentiel propre à l'observateur dans la théorie de la relativité d'Einstein. La théorie de l'évolution par la sélection naturelle de Darwin a également changé notre compréhension de la vie sur Terre.
- 2.4. Les lois sont des énoncés descriptifs et normatifs, dérivés de l'observation de patterns réguliers de comportement. En général, elles sont exprimées sous une forme mathématique et peuvent être utilisées pour calculer des résultats et faire des prévisions. Tout comme les théories et les hypothèses, les lois ne peuvent être prouvées. Les lois scientifiques peuvent avoir des exceptions et être modifiées ou rejetées à la lumière de nouvelles preuves. Les lois n'expliquent pas nécessairement un phénomène. Citons comme exemple la loi de la gravitation universelle de Newton. Celle-ci nous indique que la force entre deux masses est inversement proportionnelle au carré de leur distance, et nous permet de calculer la force entre les masses quelle que soit leur distance, mais elle ne nous explique pas les raisons pour lesquelles les masses s'attirent. Il convient également de remarquer que le terme « loi » a été utilisé de différentes façons en science et que le fait de désigner ainsi une idée donnée est en partie déterminé par la discipline et l'époque à laquelle elle a été formulée.
- 2.5. Les scientifiques formulent parfois des hypothèses, c'est-à-dire des énoncés explicatifs sur le monde qui peuvent être vrais ou faux et qui suggèrent souvent une relation de cause à effet ou une corrélation entre des facteurs. Les hypothèses peuvent être vérifiées au moyen de l'expérience et de l'observation du monde naturel, et être confirmées ou réfutées.
- 2.6. Pour être scientifique, une idée (par exemple, une théorie ou une hypothèse) doit se concentrer sur le monde naturel et les explications naturelles, et elle doit pouvoir être vérifiée. Les scientifiques s'efforcent d'élaborer des hypothèses et des théories qui sont compatibles avec les principes acceptés, et qui simplifient et unifient les idées existantes.
- 2.7. Le principe du rasoir d'Occam sert de guide pour l'élaboration d'une théorie. Cette dernière doit être aussi simple que possible tout en ayant la plus grande capacité d'explication.

- 2.8. Les idées de corrélation et de cause sont très importantes en science. Une corrélation est une association ou un lien statistique entre deux variables. Elle peut être positive ou négative et un coefficient de corrélation peut être calculé, qui aura une valeur comprise entre +1 et -1. Une forte corrélation (positive ou négative) entre deux facteurs suggère quelque relation de cause à effet entre les deux facteurs, mais des preuves supplémentaires sont généralement requises avant que les scientifiques puissent accepter l'idée d'un lien causal. Pour établir un lien causal, c'est-à-dire montrer qu'un facteur en cause un autre, les scientifiques doivent disposer d'un mécanisme scientifique plausible reliant les facteurs. Cela renforce l'idée que l'un cause l'autre (par exemple, le tabagisme et le cancer du poumon). Ce mécanisme peut être testé au cours d'expériences.
- 2.9. La situation idéale est d'étudier la relation entre un facteur et un autre en contrôlant tous les autres facteurs dans un cadre expérimental. Cependant, cela est souvent impossible et les scientifiques, notamment en biologie et en médecine, utilisent l'échantillonnage, les études de cohortes et les études de cas pour renforcer leur compréhension de la causalité lorsque les expériences (par exemple, les tests en double aveugle et les essais cliniques) sont impossibles. Dans le domaine de la médecine, l'épidémiologie fait appel à une analyse statistique des données afin de découvrir les corrélations possibles lorsque peu de connaissances scientifiques établies sont disponibles ou qu'il est difficile de contrôler entièrement les circonstances. Tout comme dans les autres domaines, l'analyse mathématique des probabilités joue également un rôle.

3. L'objectivité de la science

- 3.1. Les données, qui peuvent être qualitatives ou quantitatives, constituent l'élément vital des scientifiques. Elles peuvent être obtenues en utilisant uniquement des observations ou des expériences spécialement conçues, ou encore au moyen de sondes ou capteurs électroniques dirigés à distance, ou de mesures directes. Les meilleures données pour la formulation de prédictions et de descriptions exactes et précises sont souvent qualitatives et elles doivent se prêter à une analyse mathématique. Les scientifiques analysent les données et recherchent des patterns, des tendances et des divergences, en s'efforçant de découvrir des relations et d'établir des liens causaux. Cependant, cela n'est pas toujours possible, et l'identification ainsi que la classification des observations et des éléments caractéristiques (par exemple, les types de galaxies ou de fossiles) demeurent des aspects importants de la recherche scientifique.
- 3.2. Des mesures répétées et de nombreuses lectures peuvent améliorer la fiabilité des données recueillies. Les données peuvent être présentées sous diverses formes (par exemple, graphiques linéaires et logarithmiques) et être analysées pour mettre en lumière une proportionnalité directe ou inverse, ou encore une relation exponentielle, par exemple.
- 3.3. Les scientifiques doivent être conscients des erreurs aléatoires et systématiques, et utiliser des techniques, telles que les barres d'erreur et les droites de meilleur ajustement sur les graphiques, afin de présenter les données de la façon la plus réaliste et objective possible. Il est également nécessaire de déterminer si les données aberrantes doivent être supprimées ou non.
- 3.4. Les scientifiques doivent comprendre la différence qui existe entre les erreurs et les incertitudes ainsi qu'entre l'exactitude et la précision. Ils doivent également comprendre et utiliser les notions mathématiques de moyenne, mode, médiane, etc. Des méthodes statistiques, telles que l'écart type et le test du chi carré, sont souvent utilisées et il est important de pouvoir évaluer l'exactitude d'un résultat. La capacité de choisir la technique qui convient dans différentes circonstances est un élément essentiel de la formation et du savoir-faire des scientifiques.
- 3.5. Il est également très important que les scientifiques soient conscients des biais cognitifs qui peuvent avoir une incidence sur les méthodes expérimentales et l'interprétation des résultats expérimentaux. Le biais de confirmation, par exemple, est un biais cognitif bien documenté qui nous pousse à trouver des raisons de rejeter les données inattendues ou non conformes à nos attentes ou désirs, et à accepter

peut-être trop facilement les données conformes à ces attentes ou désirs. En science, les processus et les méthodes sont en grande partie conçus de façon à tenir compte de ces biais, mais il convient de toujours veiller à ne pas y succomber.

3. 6. Si les scientifiques ne peuvent jamais être certains de l'exactitude d'un résultat ou d'une constatation, nous savons que certains résultats scientifiques sont presque des certitudes. Les scientifiques utilisent souvent le terme « niveaux de confiance » lorsqu'ils analysent les résultats. La découverte de l'existence du boson de Higgs est un bon exemple pour illustrer ce « niveau de confiance ». Il est probable que cette particule ne puisse jamais être observée directement et, pour établir son « existence », les physiciens des particules ont dû passer le test qu'ils se sont imposés concernant ce qui peut être considéré comme une découverte : le « niveau de certitude » 5 sigma qui correspond à environ 0,00003 % de chance que l'effet ne soit pas réel si on se base sur les preuves expérimentales.
3. 7. Au cours des dernières décennies, l'augmentation de la puissance des ordinateurs ainsi que la croissance de la technologie des détecteurs et des réseaux ont permis aux scientifiques de recueillir de grandes quantités de données. Des flots de données sont constamment téléchargés depuis de nombreuses sources (par exemple, des satellites de télédétection et des sondes spatiales) et de grandes quantités de données sont produites par les appareils de séquençage des gènes. Les expériences menées dans le grand collisionneur de hadrons du CERN produisent régulièrement 23 pétaoctets de données par seconde, ce qui équivaut à 13,3 années de contenus télévisuels à haute définition par seconde.
3. 8. La recherche implique d'analyser une grande quantité de ces données, stockées dans des bases de données, afin d'y déceler des éléments caractéristiques singuliers. Cette analyse doit être faite à l'aide de logiciels généralement créés par les scientifiques concernés. Les données et les logiciels peuvent ne pas être publiés avec les résultats scientifiques, mais ils sont généralement mis à la disposition des autres chercheurs.

4. Le visage humain de la science

- 4.1. La recherche scientifique est une activité reposant fortement sur la collaboration, et la communauté scientifique est composée d'individus travaillant dans les domaines des sciences, de l'ingénierie et de la technologie. Il est courant que les scientifiques de diverses disciplines travaillent en équipe afin de rassembler différents domaines d'expertise et différentes spécialisations pour atteindre un objectif commun qui n'est pas à la portée d'un seul domaine scientifique. Il arrive également que la façon dont un problème est formulé dans le paradigme d'une discipline limite les solutions possibles. Par conséquent, il peut être extrêmement utile de formuler le problème en utilisant diverses perspectives, dans lesquelles de nouvelles solutions sont possibles.
4. 2. Ce travail d'équipe est rendu possible par une compréhension commune de la nécessité de faire preuve d'ouverture d'esprit et de faire abstraction de notre religion, culture, orientation politique, nationalité, âge et sexe en science. La science implique un échange gratuit d'informations et d'idées à l'échelle mondiale. Il va de soi que les scientifiques sont humains et qu'ils peuvent avoir des préjugés et faire preuve de parti pris, mais les institutions, les pratiques et les méthodes scientifiques contribuent au maintien de l'impartialité de la démarche scientifique.
4. 3. Outre la collaboration visant à l'échange de résultats, les scientifiques collaborent quotidiennement à des projets menés à petite échelle et à grande échelle au sein des disciplines, laboratoires, organisations et pays, mais aussi entre eux, aidés dans cette tâche par la communication virtuelle. Quelques exemples de collaboration à grande échelle sont fournis ci-dessous.
 - Le projet Manhattan : son but était de construire et de tester une bombe atomique. Plus de 130 000 personnes ont participé à ce projet qui a donné lieu à la création de plusieurs sites de recherche et de production secrets, et a abouti au largage de deux bombes atomiques sur Hiroshima et Nagasaki.

- Le projet de séquençage du génome humain : ce projet de recherche scientifique international a été lancé en 1990 dans le but de cartographier le génome humain. Doté d'un budget de trois milliards de dollars américains, il a abouti à la publication d'une séquence brute du génome en 2000. La séquence d'ADN est stockée dans des banques de données mises à la disposition de tous sur Internet.
- Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) : ce groupe, officiellement composé d'environ 2 500 scientifiques, a été créé à la demande des États membres de l'Organisation des Nations Unies. Il publie des rapports résumant les travaux d'autres scientifiques du monde entier.
- L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) : cette organisation internationale, fondée en 1954, est le plus grand laboratoire de physique des particules au monde. Situé à Genève, ce laboratoire emploie environ 2 400 personnes et communique ses résultats à 10 000 scientifiques et ingénieurs représentant plus de 100 nationalités et plus de 600 universités et établissements de recherche.

Tous ces exemples ont dans une certaine mesure provoqué une controverse et ont déchaîné les passions parmi les scientifiques et le public.

- 4.4. Les scientifiques consacrent beaucoup de temps à la lecture des résultats publiés par leurs pairs. Ils publient leurs résultats dans des revues scientifiques à l'issue d'un processus appelé « évaluation par les pairs ». Ce terme désigne l'examen anonyme et indépendant du travail de recherche d'un scientifique, ou plus souvent d'une équipe de scientifiques, par plusieurs scientifiques travaillant dans le même domaine, et ce, afin de déterminer si les méthodes de recherche sont valables et si le travail apporte de nouvelles connaissances dans ce domaine. Les scientifiques participent également à des congrès où ils animent des présentations et partagent des affiches montrant leurs travaux. La publication de revues scientifiques à comité de lecture sur Internet a permis d'accroître l'efficacité avec laquelle il est possible de trouver et de consulter la littérature scientifique. De plus, il existe un grand nombre d'organisations nationales et internationales pour les scientifiques travaillant dans des domaines spécialisés au sein des disciplines.
- 4.5. Souvent, les scientifiques travaillent dans des domaines, ou produisent des résultats, qui ont d'importantes implications éthiques et politiques. Parmi ces domaines, on peut citer le clonage, le génie génétique appliqué aux aliments et aux organismes, la recherche sur les cellules souches et les technologies de reproduction, l'énergie nucléaire, le développement d'armes (nucléaires, chimiques et biologiques), les greffes de tissus et d'organes, et d'autres domaines faisant appel à l'expérimentation sur les animaux (voir la politique de l'IB en matière d'expérimentation animale). Des questions se posent également concernant les droits de propriété intellectuelle et le libre échange des informations, qui peuvent avoir un impact important sur la société. L'activité scientifique est le fait des universités, des entreprises commerciales, des organisations gouvernementales, des ministères de la Défense et des organisations internationales. En outre, des questions de brevets et de droits de propriété intellectuelle se posent lorsque la recherche a lieu dans un environnement sécurisé.
- 4.6. L'intégrité et la représentation objective des données sont primordiales en science : les résultats ne doivent pas être truqués, manipulés ou falsifiés. Pour garantir l'intégrité en milieu universitaire et prévenir le plagiat, toutes les sources sont citées et les aides et soutiens sont dûment mentionnés. L'évaluation par les pairs ainsi que l'examen approfondi et le scepticisme de la communauté scientifique permettent également d'atteindre ces objectifs.
- 4.7. Toute recherche scientifique nécessite un financement et la source de ce financement joue un rôle déterminant dans la prise de décisions concernant le type de recherche pouvant être menée. Le financement provenant des gouvernements et des œuvres de bienfaisance est parfois utilisé pour la recherche fondamentale (c'est-à-dire la recherche qui ne procure aucun avantage direct évident à quiconque) tandis que celui provenant d'entreprises privées est souvent employé pour la recherche appliquée (c'est-à-dire la recherche en vue de produire une technologie ou un produit particulier). Des

facteurs politiques et économiques déterminent souvent la nature et l'importance du financement. Les scientifiques doivent souvent consacrer du temps aux demandes de subventions de recherche et présenter des arguments en faveur des recherches qu'ils souhaitent entreprendre.

- 4.8. La science a permis de résoudre bon nombre de problèmes et d'améliorer le sort de l'humanité, mais elle a aussi été utilisée d'une manière immorale et d'une façon qui a involontairement entraîné des problèmes. Les progrès en matière de système sanitaire, d'approvisionnement en eau pure et d'hygiène ont conduit à une baisse importante des taux de mortalité, mais, en l'absence d'une baisse compensatoire des taux de natalité, cela a provoqué un accroissement considérable des populations, avec tous les problèmes de ressources, d'énergie et d'approvisionnement alimentaire que cela entraîne. Les débats sur l'éthique, l'analyse risques-avantages, l'évaluation des risques et le principe de précaution sont autant d'exemples de façons dont la science assure le bien commun.

5. La culture scientifique et la compréhension de la science par le public

- 5.1. Une compréhension de la nature de la science est essentielle lorsque la société doit prendre des décisions concernant des résultats et des questions scientifiques. Comment le public juge-t-il ? Il se peut que le public ne puisse pas émettre de jugements en se basant sur sa compréhension directe d'une science, mais il peut se poser la question importante de savoir si les processus scientifiques ont été suivis, et les scientifiques ont un rôle à jouer dans l'apport de réponses à cette question.
- 5.2. En tant qu'experts dans leurs domaines respectifs, les scientifiques sont bien placés pour expliquer leurs problèmes et leurs résultats au public. Sortis de leur domaine de spécialisation, ils ne sont pas plus qualifiés qu'un citoyen ordinaire pour conseiller autrui sur des questions scientifiques, même si leur compréhension des processus scientifiques peut les aider à prendre des décisions personnelles et à informer le public de la crédibilité ou de l'in vraisemblance d'une assertion sur le plan scientifique.
- 5.3. Outre la connaissance de la façon dont les scientifiques travaillent et pensent, la culture scientifique suppose une prise de conscience des raisonnements erronés. Les biais cognitifs et les erreurs de raisonnement susceptibles d'influencer les individus (y compris les scientifiques) sont nombreux et ils doivent être rectifiés chaque fois que cela est possible. À titre d'exemples, on peut citer le biais de confirmation, les généralisations hâtives, la relation causale erronée (ou en latin « *post hoc, ergo propter hoc* »), le raisonnement spéieux, la redéfinition (changement des règles du jeu en cours de jeu), l'appel à la tradition, l'argument d'autorité et l'accumulation d'anecdotes considérées comme des preuves.
- 5.4. Lorsque ces biais et faux raisonnements ne sont pas correctement gérés ou rectifiés, ou lorsque les processus et les mécanismes régulateurs de la science sont ignorés ou incorrectement appliqués, le résultat est une « pseudoscience ». Ce terme désigne des convictions et des pratiques prétendument scientifiques, qui ne respectent ou ne suivent pas les normes des méthodes scientifiques appropriées. En d'autres termes, elles ne sont pas appuyées de preuves, n'ont pas de cadre théorique, ne sont pas toujours vérifiables et sont donc falsifiables, sont exprimées de manière peu rigoureuse ou peu claire, et ne sont souvent pas étayées par des tests scientifiques.
- 5.5. L'utilisation d'une terminologie appropriée constitue un autre élément clé. Les mots que les scientifiques conviennent de désigner comme des termes scientifiques ont souvent une signification différente dans le langage quotidien et le discours scientifique destiné au public doit en tenir compte. Le terme « théorie », par exemple, désigne une intuition ou une spéculation dans le langage courant, alors qu'en science, une théorie reconnue est une idée scientifique ayant produit des prédictions qui ont été rigoureusement vérifiées, et ce, de bien des façons. Pour le grand public, un aérosol n'est qu'un vaporisateur, tandis que pour les scientifiques, il s'agit d'un ensemble de particules liquides ou solides en suspension dans un milieu gazeux.

5.6. Quel que soit le domaine scientifique (qu'il s'agisse de la recherche fondamentale, la recherche appliquée ou l'ingénierie des nouvelles technologies), il existe d'innombrables possibilités d'exercer sa pensée créatrice et son imagination. La science a fait des progrès considérables, mais il subsiste un grand nombre de questions sans réponse, qui sont autant de défis à relever pour les nouvelles générations de scientifiques.

Le diagramme ci-après fait partie d'un diagramme interactif présentant le processus de recherche scientifique en pratique. Vous trouverez la version interactive dans la référence suivante : How science works: The flowchart [en ligne]. *Understanding Science*. University of California Museum of Paleontology [référence du 1^{er} février 2013]. Disponible sur Internet : <<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>>.

Comment fonctionne la science

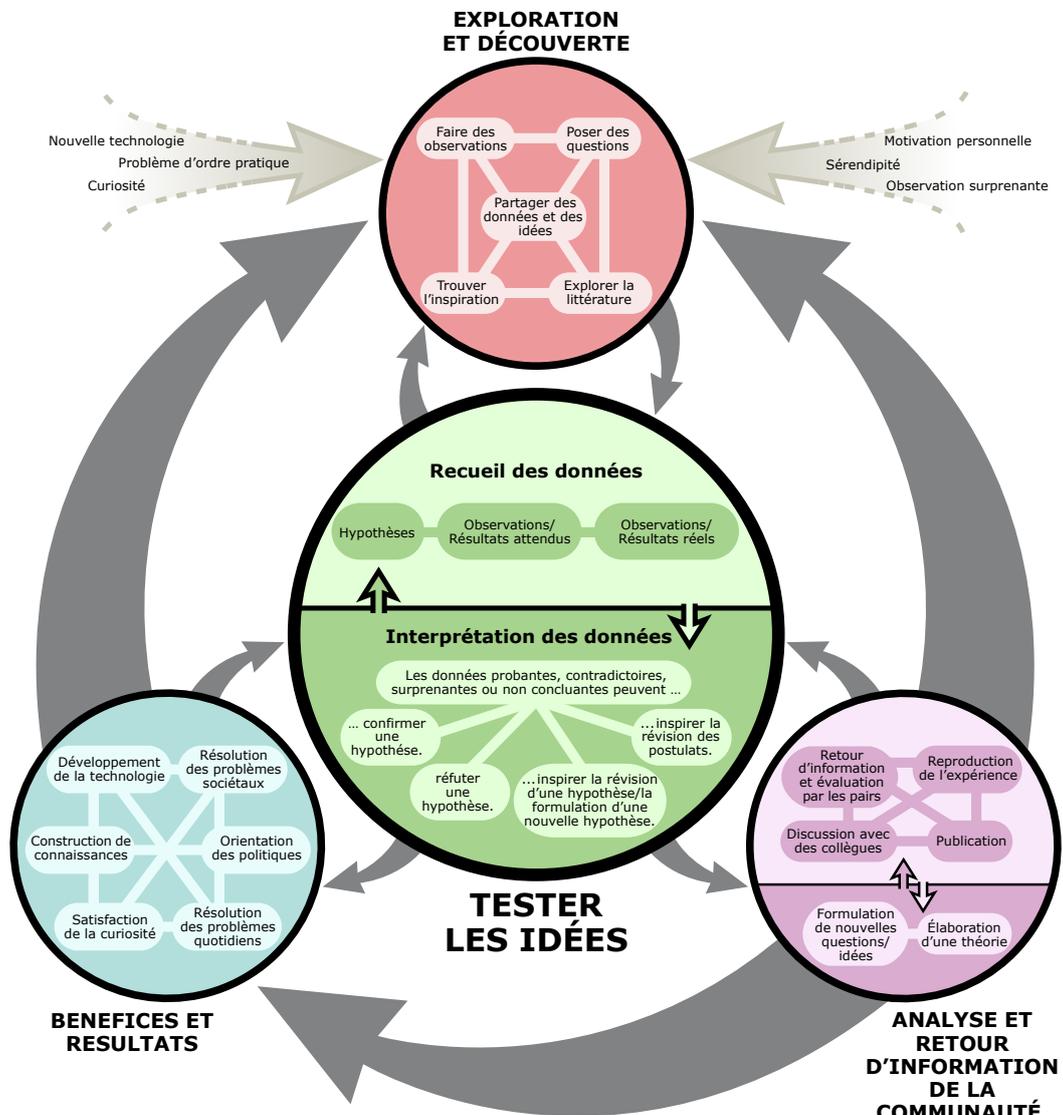


Figure 2
Processus menant à la découverte scientifique

Nature de la biologie

La biologie est l'étude de la vie. Les premiers organismes ont fait leur apparition sur la planète il y a plus de trois milliards d'années et, par reproduction et sélection naturelle, ils ont permis l'émergence de quelque huit milliards d'espèces différentes vivant aujourd'hui. Les estimations varient mais, au fil de l'évolution, il est possible que quatre milliards d'espèces aient été produites. La plupart d'entre elles ont prospéré pendant un certain temps, puis elles ont disparu au fur et à mesure que de nouvelles espèces mieux adaptées les ont remplacées. Il y a eu au moins cinq périodes durant lesquelles de très grands nombres d'espèces ont disparu, et les biologistes craignent qu'une autre vague de disparition en masse ne survienne, cette fois-ci due aux activités humaines. Ceci dit, il existe actuellement sur la Terre un nombre d'espèces vivantes plus élevé que jamais. Une telle diversité fait de la biologie à la fois une source de fascination infinie et un énorme défi.

Il est naturel que les êtres humains s'intéressent à la vie ; nous sommes nous-mêmes des organismes vivants et, qui plus est, notre survie dépend de nombreuses espèces, certaines autres nous menacent et nous coexistons avec maintes autres. Qu'il s'agisse de premières peintures découvertes dans les grottes ou de documentaires modernes sur la faune et la flore, cet intérêt est tout aussi flagrant qu'il n'est ubiquiste, alors que la biologie continue à fasciner les jeunes et les moins jeunes dans le monde entier.

Le terme « biologie » a été inventé en 1802 par le naturaliste allemand Gottfried Reinhold, mais notre compréhension des organismes vivants n'a commencé à s'accroître rapidement qu'à l'arrivée de techniques et de technologies développées au cours des XVIII^e et XIX^e siècles, comme l'invention du microscope, et à la réalisation que la sélection naturelle est le processus ayant conduit à l'évolution de la vie.

Les biologistes tentent de comprendre le monde vivant à tous les niveaux en utilisant de nombreuses approches et techniques différentes. À une extrémité de l'échelle se trouvent la cellule, sa construction moléculaire et les réactions métaboliques complexes, alors qu'à l'autre, les biologistes examinent les interactions qui font fonctionner les écosystèmes dans leur ensemble.

En biologie, de nombreux domaines de recherche nous incitent à l'action mais il nous reste encore à faire de nombreuses découvertes. La biologie est encore une science jeune et l'on prévoit de faire de grands progrès au cours du XXI^e siècle. Un tel progrès est fortement requis à une époque où la croissance de la population humaine exerce une pression toujours croissante sur les disponibilités alimentaires et sur les habitats des autres espèces, tout en menaçant la planète même sur laquelle nous vivons.

Modes d'enseignement

La biologie peut être enseignée de diverses manières. Par nature, la biologie se prête à une approche expérimentale et l'IB s'attend à ce qu'il en soit tenu compte tout au long du cours.

L'ordre de présentation du contenu du programme **n'a rien à voir** avec l'ordre dans lequel il sera enseigné. Chaque enseignant doit décider de l'organisation du cours en fonction de la situation qui lui est propre. Les enseignants peuvent enseigner certains contenus de l'option dans le tronc commun ou le module complémentaire du niveau supérieur (MCNS), ou l'option peut être enseignée dans un module distinct.

Science et dimension internationale

La science elle-même est une activité internationale : l'échange d'informations et d'idées par-delà les frontières nationales a été essentiel pour le progrès de la science. Cet échange ne constitue pas un phénomène nouveau, mais il s'est accéléré ces derniers temps grâce au développement des technologies de l'information et de la communication. En effet, l'idée que la science est une invention occidentale est un mythe : bon nombre de fondements de la science moderne ont été posés il y a plusieurs siècles par les civilisations arabe, indienne et chinoise, entre autres. Les enseignants sont encouragés à insister sur cette contribution pendant l'étude de divers thèmes, en utilisant, par exemple, des échelles chronologiques sur des sites Web. De par l'accent qu'elle met sur l'évaluation par les pairs, l'ouverture d'esprit et la liberté de pensée, la méthode scientifique (dans son sens le plus large) transcende les politiques, les religions, les sexes et les nationalités. Lorsque les thèmes s'y prêtent, les sections décrivant le programme dans les guides du groupe 4 comportent des liens illustrant les aspects internationaux de la science.

Du point de vue de l'organisation, il existe maintenant de nombreux organismes internationaux voués à la promotion de la science. Les organismes de l'Organisation des Nations Unies, tels que l'Unesco, le PNUE et l'OMM, au sein desquels la science joue un rôle prépondérant, sont bien connus, mais il existe des centaines d'autres organismes internationaux représentant chaque branche de la science. Les installations nécessaires aux recherches à grande échelle (par exemple, en physique des particules et pour le projet de séquençage du génome humain) sont dispendieuses et seules les coentreprises financées par de nombreux pays rendent leur réalisation possible. Les données issues de ces recherches sont partagées par les scientifiques du monde entier. Les élèves et les enseignants des matières du groupe 4 sont encouragés à consulter les bases de données et les sites Web très complets de ces organismes scientifiques internationaux afin de mieux comprendre la dimension internationale de la recherche scientifique.

De plus en plus, on reconnaît que bon nombre de problèmes scientifiques sont de nature internationale et cela a conduit à adopter une approche mondiale de la recherche dans de nombreux domaines. Les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat en constituent un exemple de premier ordre. D'un point de vue pratique, le projet du groupe 4 (que tous les élèves étudiant une matière scientifique doivent entreprendre) reflète le travail de vrais scientifiques en favorisant la collaboration entre les établissements scolaires dans toutes les régions.

La capacité de la connaissance scientifique à transformer les sociétés est sans pareil. Elle peut produire de grands bienfaits universels ou renforcer les inégalités et nuire aux hommes et à l'environnement. Conformément à la déclaration de mission de l'IB, les élèves étudiant une matière du groupe 4 doivent être conscients de la responsabilité morale des scientifiques de veiller à ce que les connaissances et les données scientifiques soient équitablement mises à la disposition de tous les pays et que ces derniers aient la capacité scientifique de les utiliser pour développer des sociétés viables.

Il convient d'attirer l'attention des élèves sur les sections du programme dans lesquelles des liens sont établis avec la sensibilité internationale. Des exemples illustrant la sensibilité internationale en science sont fournis sous chaque sujet dans la section « Contenu du programme ». Les enseignants peuvent également utiliser les ressources disponibles sur le site Web « Objectif monde » de l'IB (<http://globalengagement.ibo.org/fr>).

Différences entre le NM et le NS

Dans le groupe 4, les élèves du NM et du NS étudient un tronc commun et sont soumis à un système d'évaluation interne identique. De plus, certains éléments de l'option étudiée par les élèves du NM et du NS se chevauchent. Ces élèves étudient un programme qui favorise le développement de certaines compétences, qualités et attitudes, qui sont décrites dans la section « Objectifs d'évaluation » du présent guide.

Si les compétences et les activités des matières du groupe 4 sont communes aux élèves du NM et du NS, les élèves du NS doivent également étudier certains thèmes de façon plus approfondie dans le cadre des modules complémentaires du niveau supérieur (MCNS) et des options communes. Le NM et le NS diffèrent par l'étendue et la profondeur de l'étude.

Acquis préliminaires

L'expérience montre que les élèves sans formation scientifique ou connaissances préalables en science seront capables d'étudier avec succès une matière du groupe 4 au NM. Leur approche de l'apprentissage, caractérisée par les qualités du profil de l'apprenant de l'IB, jouera un rôle important.

Même s'il n'existe aucune volonté de restreindre l'accès aux matières du groupe 4, il est cependant souhaitable, pour la plupart des élèves envisageant l'étude d'une de ces disciplines au NS, d'avoir préalablement suivi un cours de science. Aucun programme précis n'est spécifié, mais les élèves qui ont suivi le Programme d'éducation intermédiaire (PEI) de l'IB, un cours de science équivalent dans le cadre d'un programme national ou un cours de science propre à l'établissement, sont bien préparés à l'étude d'une matière scientifique au NS.

Liens avec le Programme d'éducation intermédiaire (PEI)

Les élèves ayant suivi les cours de sciences expérimentales, de design et de mathématiques du PEI sont bien préparés pour les matières du groupe 4. L'harmonisation entre le cours de sciences expérimentales du PEI et les cours du groupe 4 permet une transition sans heurt du PEI au Programme du diplôme. La planification simultanée des nouveaux cours du groupe 4 et du projet « Une nouvelle page pour le PPCS » (lancé en 2014) a permis une meilleure mise en concordance.

Dans le PEI, la recherche scientifique occupe une place centrale dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences expérimentales. Elle permet aux élèves de développer une façon de penser ainsi qu'un ensemble de compétences et de processus qui, en plus de leur permettre d'acquérir et d'utiliser des connaissances, leur donne la capacité d'aborder en toute confiance la composante d'évaluation interne des matières du groupe 4. Les sciences expérimentales du PEI visent à développer des apprenants du XXI^e siècle. Un programme de sciences holistique permet aux élèves d'acquérir et d'utiliser un mélange de capacités intellectuelles, savoir-faire sociaux, motivation personnelle, connaissances conceptuelles et compétences en matière de résolution de problèmes dans un environnement d'apprentissage reposant sur la recherche (Rhoton 2010). La recherche vise à favoriser la compréhension qu'ont les élèves de la science en leur donnant des occasions d'explorer, seuls et en groupe, des problèmes les concernant par le biais de la recherche et de l'expérimentation. Elle fournit une compréhension scientifique solide et essentiellement conceptuelle aux élèves qui souhaitent étudier une matière du groupe 4.

Dans le PEI, les enseignants utilisent leur jugement professionnel pour évaluer les réalisations des élèves. Ils sont aidés en cela par des critères d'évaluation publiés, précis et connus à l'avance, qui garantissent la transparence de l'évaluation. L'IB pratique une évaluation qualifiée de « critériée ». Cette évaluation n'est donc pas « normative » puisqu'elle juge les travaux des élèves sur la base de niveaux attendus d'accomplissements et non en les comparant les uns aux autres dans le cadre d'une distribution attendue des notes. Il est important de souligner que l'objectif unique et primordial de l'évaluation au sein du PEI (tout comme celle au sein du Programme primaire et du Programme du diplôme) est de soutenir les objectifs pédagogiques et de favoriser un bon apprentissage chez les élèves. Les tâches d'évaluation se basent sur une évaluation de l'atteinte des objectifs globaux et spécifiques du cours, et, par conséquent, un

enseignement conforme aux exigences du cours permet à son tour un enseignement efficace préparant les élèves aux exigences officielles de l'évaluation. Les élèves doivent comprendre ce que sont les pratiques, normes et attentes en matière d'évaluation. Tous ces éléments doivent leur être présentés naturellement au début du programme, et être intégrés dans les activités réalisées en classe et à la maison. L'expérience de l'évaluation critériée acquise au sein du PEI aide grandement les élèves qui souhaitent étudier une matière du groupe 4 du Programme du diplôme à comprendre les exigences de l'évaluation interne.

Le programme de sciences expérimentales du PEI est organisé autour de concepts moteurs. Il a pour but d'aider les apprenants à construire du sens grâce à un meilleur esprit critique et à un transfert des connaissances. En premier lieu, il utilise des **concepts clés**, c'est-à-dire de grandes idées, à la fois puissantes et cohésives, en rapport avec le cours de sciences expérimentales mais aussi avec les autres groupes de matières. Ces concepts clés facilitent à la fois l'apprentissage de la discipline et l'apprentissage interdisciplinaire ainsi que l'établissement de liens avec les autres matières. Si les concepts clés donnent de l'ampleur au programme, les **concepts connexes** du cours de sciences expérimentales permettent quant à eux une étude approfondie. Les concepts connexes peuvent être considérés comme les grandes idées qui confèrent une orientation et une profondeur aux unités, et qui aident les élèves à acquérir une compréhension conceptuelle.

Le tableau ci-après présente les 16 concepts clés du PEI. Les trois concepts apparaissant en gras sont ceux sur lesquels se concentre le cours de sciences expérimentales du PEI.

Concepts clés du PEI			
Esthétique	Changement	Communication	Communautés
Liens	Créativité	Culture	Développement
Forme	Interactions mondiales	Identité	Logique
Perspective	Relations	Systèmes	Temps, lieu et espace

En outre, les élèves du PEI ont la possibilité de se prêter à une évaluation en ligne facultative et fondée sur des concepts afin de mieux se préparer aux cours de sciences du Programme du diplôme.

Sciences et théorie de la connaissance (TdC)

Le cours de TdC (première évaluation en 2015) invite les élèves à réfléchir sur la nature de la connaissance et sur la façon dont nous savons ce que nous affirmons connaître. Le cours présente huit modes de la connaissance : la raison, l'émotion, la langue / le langage, la perception sensorielle, l'intuition, l'imagination, la foi et la mémoire. Les élèves explorent ces modes de production des connaissances dans le contexte de divers domaines de la connaissance : les sciences naturelles, les sciences humaines, les arts, l'éthique, l'histoire, les mathématiques, les systèmes de connaissances religieuses et les systèmes de connaissances des cultures autochtones. Le cours de TdC exige également des élèves qu'ils comparent les différents domaines de la connaissance, en réfléchissant à la manière dont les connaissances sont construites dans les diverses disciplines ainsi qu'aux points communs et aux différences entre ces disciplines.

Les leçons de TdC peuvent aider les élèves dans leur étude des sciences, tout comme l'étude des sciences peut les aider dans leur cours de TdC. Ce dernier permet aux élèves de participer à des discussions enrichissantes et plus larges sur certaines questions, comme celle de savoir ce qu'implique la dénomination « science » pour une discipline ou celle de savoir si la quête de la connaissance scientifique devrait être soumise à des contraintes d'ordre éthique. Le cours de TdC leur donne également l'occasion de réfléchir sur les méthodes

scientifiques, et de les comparer aux méthodes utilisées dans d'autres domaines de la connaissance. Il est désormais largement admis qu'il n'existe pas une seule et unique méthode scientifique, au sens poppérien du terme. Les sciences utilisent plutôt un éventail d'approches pour expliquer le fonctionnement du monde naturel. Les différentes disciplines scientifiques mettent toutes l'accent sur l'utilisation du raisonnement inductif et déductif, sur l'importance des preuves, etc. Les élèves sont encouragés à comparer et opposer les méthodes scientifiques aux méthodes utilisées en art ou en histoire, par exemple.

Les élèves ont ainsi de nombreuses occasions d'établir des liens entre leur cours de sciences et leur cours de TdC. Une façon dont les enseignants de sciences peuvent les aider à établir des liens avec la TdC est d'attirer leur attention sur les questions sur la connaissance qui se posent dans leur matière. Les questions sur la connaissance sont des questions ouvertes au sujet de la connaissance. Quelques exemples sont fournis ci-dessous.

- Comment distinguer une science d'une pseudoscience ?
- Lorsqu'un scientifique fait une expérience, quel rapport y a-t-il entre ses attentes et sa perception ?
- Comment la connaissance scientifique progresse-t-elle ?
- Quel est le rôle de l'imagination et de l'intuition en science ?
- Quelles sont les similarités et les différences entre les méthodes utilisées en sciences naturelles et celles utilisées en sciences humaines ?

Des exemples de questions sur la connaissance pertinentes sont fournis tout au long de ce guide (sous les sujets dans la section « Contenu du programme »). Des exemples de questions sur la connaissance intéressantes sont également proposés dans les sections « Domaines de la connaissance » et « Cadre conceptuel de la connaissance » du guide de TdC. Les enseignants peuvent s'en servir pour les discussions en classe. Il convient d'encourager les élèves à poser des questions sur la connaissance et à discuter de ces questions pendant les leçons de sciences et de TdC.

Objectifs globaux

Objectifs globaux du groupe 4

En étudiant la biologie, la chimie ou la physique, les élèves devraient prendre conscience de la façon dont les scientifiques travaillent et communiquent entre eux. Si la méthode scientifique peut prendre un grand nombre de formes, c'est l'accent mis sur l'approche pratique, grâce au travail expérimental, qui caractérise ces matières.

Grâce au thème fondamental de la nature de la science, les matières du groupe 4 visent à permettre aux élèves :

1. d'apprécier l'étude des sciences et la créativité scientifique dans un contexte mondial en leur proposant des activités d'apprentissage stimulantes et exigeantes ;
2. d'acquérir un ensemble de connaissances, de méthodes et de techniques propres aux sciences et à la technologie ;
3. de mettre en application et d'utiliser un ensemble de connaissances, de méthodes et de techniques propres aux sciences et à la technologie ;
4. de développer leur capacité à analyser, évaluer et synthétiser les informations scientifiques ;
5. de développer un sens critique de la nécessité et de la valeur d'une collaboration et d'une communication efficaces au cours des activités scientifiques ;
6. de développer des compétences en matière d'expérimentation et de recherche scientifique, et notamment la capacité à utiliser les technologies modernes ;
7. d'acquérir et de mettre en pratique les compétences en communication nécessaires au XXI^e siècle lors de l'étude des sciences ;
8. de développer un sens critique, en tant que citoyens du monde, des implications éthiques de l'utilisation des sciences et de la technologie ;
9. d'appréhender les ressources et les limites des sciences et de la technologie ;
10. de favoriser une compréhension des rapports existant entre les disciplines scientifiques et de leur influence sur d'autres domaines de la connaissance.

Objectifs d'évaluation

Les objectifs d'évaluation définis pour la biologie, la chimie et la physique reflètent les aspects des objectifs globaux qui feront officiellement l'objet d'une évaluation interne ou externe. Cette évaluation se concentrera sur la nature de la science. Les cours de sciences du Programme du diplôme ont pour but d'amener les élèves à atteindre les objectifs d'évaluation suivants.

1. Démontrer une connaissance et une compréhension :
 - a. des faits, des concepts et de la terminologie ;
 - b. des méthodes et des techniques ;
 - c. des modes de communication des informations scientifiques.
2. Utiliser :
 - a. les faits, les concepts et la terminologie ;
 - b. les méthodes et les techniques ;
 - c. les méthodes de communication des informations scientifiques.
3. Élaborer, analyser et évaluer :
 - a. des hypothèses, des questions de recherche et des prédictions ;
 - b. des méthodes et des techniques ;
 - c. des données primaires et secondaires ;
 - d. des explications scientifiques.
4. Faire preuve des compétences en matière d'expérimentation et de recherche ainsi que des compétences personnelles qui sont nécessaires pour mener des recherches éclairantes et éthiques.

Résumé du programme

Composante du programme	Nombre d'heures d'enseignement recommandé	
	NM	NS
Tronc commun	95	
1. La biologie cellulaire	15	
2. La biologie moléculaire	21	
3. La génétique	15	
4. L'écologie	12	
5. L'évolution et la biodiversité	12	
6. La physiologie humaine	20	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)		60
7. Les acides nucléiques		9
8. Le métabolisme, la respiration cellulaire et la photosynthèse		14
9. La biologie végétale		13
10. La génétique et l'évolution		8
11. La physiologie animale		16
Option	15	25
A. La neurobiologie et le comportement	15	25
B. La biotechnologie et la bioinformatique	15	25
C. L'écologie et la protection de l'environnement	15	25
D. La physiologie humaine	15	25
Programme de travaux pratiques	40	60
Les activités pratiques	20	40
La recherche individuelle (évaluation interne – ÉI)	10	10
Le projet du groupe 4	10	10
Nombre total d'heures d'enseignement	150	240

La durée de l'enseignement recommandée est de 240 heures pour les cours de niveau supérieur et de 150 heures pour les cours de niveau moyen, tel que stipulé dans le document intitulé *Règlement général du Programme du diplôme* (2011, page 4, article 8.2).

Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la biologie

Structure du programme

La section « Programme » est structurée de la même manière dans les guides de chimie, de physique et de biologie. Cette nouvelle structure permet de mettre en lumière et de cibler certains aspects de l'enseignement et de l'apprentissage.

Thèmes ou options

Les thèmes sont numérotés et les options sont indiquées par des lettres (par exemple, « Thème 4 – L'écologie » ou « Option D. La physiologie humaine »).

Sujets

Les sujets sont numérotés (par exemple, « 4.1 Les espèces, les communautés et les écosystèmes »). Des renseignements complémentaires ainsi que des conseils sur le nombre d'heures pouvant être consacrées aux sujets sont fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Chaque sujet commence par une idée essentielle, c'est-à-dire une interprétation durable qui est considérée comme faisant partie de la perception qu'a le public de la science. Elle est suivie d'une section intitulée « Nature de la science » qui fournit des exemples précis dans un contexte illustrant certains aspects de la nature de la science. Ces exemples sont directement liés aux références spécifiques faites dans la partie du guide intitulée « Nature de la science » afin d'aider les enseignants à mieux comprendre le thème général à étudier.

Sous le thème fondamental « Nature de la science » se trouvent deux colonnes. La première indique les « Notions clés », c'est-à-dire les idées d'ordre général qui doivent être enseignées. La section « Applications et compétences » vient ensuite. Elle présente les applications et les compétences spécifiques qui doivent être développées à partir des compréhensions. Enfin, la section « Directives et informations supplémentaires » fournit des informations sur les limites et les restrictions ainsi que sur le degré d'approfondissement requis pour les enseignants et les examinateurs. Tous les points mentionnés dans la section « Nature de la science » précédant les deux colonnes et dans la première colonne sont susceptibles de faire l'objet d'une évaluation. Dans la deuxième colonne, certains points de la section « Sensibilité internationale » feront l'objet d'une évaluation, comme c'était le cas dans l'ancien programme.

La deuxième colonne suggère aux enseignants des références pertinentes à la sensibilité internationale. Elle fournit également des exemples de questions sur la théorie de la connaissance (voir *Guide de théorie de la connaissance* publié en 2013), qui peuvent être utilisés pour amener les élèves à se concentrer sur la préparation de l'essai de TdC portant sur un sujet prescrit. La section « Utilisation » établit des liens entre le sujet et d'autres parties du programme de biologie, d'autres guides de matières du Programme du diplôme ou des applications dans le monde réel. Enfin, la section « Objectifs globaux » montre comment certains objectifs globaux du groupe 4 sont pris en considération dans le sujet.

Structure du guide

Thème 1 – <Titre>

Idée essentielle : cette section indique l'idée essentielle pour chaque sujet.

1.1 Sujet	
<p>Nature de la science</p> <p>Cette section relie le sujet au thème fondamental de la nature de la science.</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section fournit des précisions sur les exigences en matière de contenu pour chaque sujet. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section indique la façon dont les élèves doivent utiliser les notions de la section « Notions clés ». Par exemple, ces applications pourraient impliquer des calculs mathématiques ou la démonstration de compétences pratiques. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Cette section fournit des précisions et indique les restrictions aux exigences relatives aux sections « Notions clés » et « Applications et compétences ». 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Idées que les enseignants peuvent facilement mentionner pendant leurs leçons. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Exemples de questions sur la théorie de la connaissance. <p>Utilisation (y compris la sous-section « Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires »)</p> <ul style="list-style-type: none"> Liens avec d'autres thèmes du <i>Guide de biologie</i>, avec diverses applications concrètes et avec d'autres cours du Programme du diplôme. <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Liens avec les objectifs globaux des matières du groupe 4.

Compétences en matière d'expérimentation dans les matières du groupe 4

« J'entends et j'oublie. Je vois et je me souviens. Je fais et je comprends. »

Confucius

Le travail en laboratoire ou sur le terrain fait partie intégrante de l'étude de chacune des matières du groupe 4. Les travaux pratiques permettent aux élèves d'être en contact direct avec des phénomènes naturels et des sources de données secondaires. Ils donnent aux élèves l'occasion de concevoir des recherches, de recueillir des données, d'acquérir des compétences de manipulation, d'analyser des résultats, de collaborer avec leurs pairs ainsi que d'évaluer et de communiquer leurs constatations. Les expériences peuvent servir à présenter un thème ou à étudier un phénomène, ou encore permettre aux élèves d'examiner des questions et des curiosités, et d'y réfléchir.

Les expériences pratiques donnent aux élèves la possibilité de mettre en œuvre quelques-unes des procédures utilisées par les scientifiques. Elles leur permettent d'expérimenter la nature de la pensée et de la recherche scientifiques. Toutes les théories et lois scientifiques commencent par des observations.

Il est important que les élèves participent à un programme de travaux pratiques fondé sur la recherche qui permet le développement des compétences nécessaires à la recherche scientifique. Le simple fait de pouvoir

suivre des instructions ou de reproduire une procédure expérimentale donnée ne suffit pas. Il convient de leur donner l'occasion d'effectuer une véritable recherche. L'acquisition des compétences nécessaires à la recherche scientifique permettra aux élèves d'élaborer une explication fondée sur des preuves fiables et un raisonnement logique. Une fois acquises, ces compétences de réflexion d'ordre supérieur permettront aux élèves de continuer à apprendre tout au long de leur vie et d'avoir une culture scientifique.

Le programme de travaux pratiques de l'établissement doit refléter toute l'ampleur et la profondeur du cours, y compris l'option. Il doit également préparer les élèves à la recherche individuelle qu'ils devront entreprendre dans le cadre de l'évaluation interne. Pour développer les compétences de manipulation des élèves, il convient de leur apprendre à suivre scrupuleusement les instructions et à utiliser un équipement et des techniques variés en se montrant prudents, compétents et méthodiques.

Dans la partie « Contenu du programme », la section « Applications et compétences » indique les compétences de travaux pratiques en laboratoire, les techniques et les expériences spécifiques que les élèves doivent utiliser au cours de l'étude de leur matière du groupe 4. D'autres compétences de travaux pratiques en laboratoire, techniques et expériences recommandées par l'IB sont énumérées dans la section « Objectifs globaux » des pages consacrées au programme. L'objectif global 6 des matières du groupe 4 se rapporte directement au développement de compétences en matière d'expérimentation et de recherche.

Compétences requises en mathématiques

Tous les élèves suivant le cours de biologie du Programme du diplôme doivent être capables :

- d'effectuer les opérations mathématiques de base (addition, soustraction, multiplication et division) ;
- d'effectuer des calculs impliquant des moyennes, des décimales, des fractions, des pourcentages et des rapports ;
- de représenter et d'interpréter des données de fréquence sous la forme de graphiques en barres, de graphiques et d'histogrammes, y compris la proportionnalité directe et inverse ;
- de construire des graphiques (en utilisant les échelles et les axes appropriés) incluant deux variables qui montrent des relations linéaires et non linéaires ;
- de tracer et d'interpréter des graphiques de dispersion afin d'identifier une corrélation entre deux variables et de se rendre compte que l'existence d'une corrélation ne permet pas d'établir une relation de cause à effet ;
- de déterminer le mode et la médiane d'un ensemble de données, de calculer et d'analyser l'écart type ;
- de sélectionner les tests statistiques qui conviennent pour analyser des données particulières et interpréter les résultats.

Utilisation des technologies de l'information et de la communication

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) est recommandée dans tous les aspects du cours, notamment dans le programme de travaux pratiques et dans les activités quotidiennes effectuées en classe. Les enseignants doivent se référer aux pages consacrées à l'utilisation des TIC dans le matériel de soutien pédagogique.

Planification du cours

Le programme, tel qu'il est présenté dans le présent guide, ne prétend pas imposer un ordre pour l'étude des thèmes, mais il apporte des informations concernant les contenus à étudier avant la fin du cours. Le programme d'études élaboré par l'établissement doit répondre le mieux possible aux besoins des élèves. Par exemple, il pourra être élaboré en fonction des ressources disponibles et tenir compte de l'expérience et des connaissances préalables des élèves ou d'autres exigences imposées à l'échelle locale.

Au NS, les enseignants peuvent choisir d'enseigner simultanément les thèmes du tronc commun et les thèmes du MCNS ou choisir de les enseigner en spirale, c'est-à-dire enseigner les thèmes du tronc commun en 1^{re} année puis revenir sur ces thèmes du tronc commun lors de l'étude des thèmes du MCNS en 2^e année. Le thème de l'option peut être enseigné comme un thème distinct ou être intégré dans l'enseignement des thèmes du tronc commun et/ou du MCNS.

Quelle que soit la stratégie adoptée, il convient de prévoir suffisamment de temps pour les révisions en vue des examens. Les élèves doivent également se voir accorder du temps pour réfléchir sur leur apprentissage et leur évolution en tant qu'apprenants.

Le profil de l'apprenant de l'IB

Le cours de biologie est étroitement lié au profil de l'apprenant de l'IB. En suivant ce cours, les élèves prendront connaissance de ces qualités. Par exemple, les exigences de l'évaluation interne donnent l'occasion aux élèves de développer chaque aspect du profil de l'apprenant de l'IB. Le tableau suivant fournit un certain nombre de références aux cours du groupe 4 pour chaque qualité du profil de l'apprenant.

Qualité du profil de l'apprenant	Biologie, chimie et physique
Chercheurs	Objectifs globaux 2 et 6 Travaux pratiques et évaluation interne
Informés	Objectifs globaux 1 et 10, section « Sensibilité internationale » Travaux pratiques et évaluation interne
Sensés	Objectifs globaux 3 et 4, section « Théorie de la connaissance » Travaux pratiques et évaluation interne
Communicatifs	Objectifs globaux 5 et 7, évaluation externe Travaux pratiques et évaluation interne
Intègres	Objectifs globaux 8 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, comportements/pratiques éthiques (affiche sur les pratiques éthiques dans le cadre du Programme du diplôme et politique de l'IB en matière d'expérimentation animale), intégrité en milieu scolaire
Ouverts d'esprit	Objectifs globaux 8 et 9, section « Sensibilité internationale » Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4

Qualité du profil de l'apprenant	Biologie, chimie et physique
Altruistes	Objectifs globaux 8 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4, comportements/ pratiques éthiques (affiche sur les pratiques éthiques dans le cadre du Programme du diplôme et politique de l'IB en matière d'expérimentation animale)
Audacieux	Objectifs globaux 1 et 6 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4
Équilibrés	Objectifs globaux 8 et 10 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4, travail sur le terrain
Réfléchis	Objectifs globaux 5 et 9 Travaux pratiques et évaluation interne, projet du groupe 4

Contenu du programme

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
Tronc commun	95 heures
Thème 1 – La biologie cellulaire	15
1.1 Introduction aux cellules	
1.2 L'ultrastructure des cellules	
1.3 La structure des membranes	
1.4 Le transport transmembranaire	
1.5 L'origine des cellules	
1.6 La division cellulaire	
Thème 2 – La biologie moléculaire	21
2.1 Des molécules au métabolisme	
2.2 L'eau	
2.3 Les glucides et les lipides	
2.4 Les protéines	
2.5 Les enzymes	
2.6 La structure de l'ADN et de l'ARN	
2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction	
2.8 La respiration cellulaire	
2.9 La photosynthèse	
Thème 3 – La génétique	15
3.1 Les gènes	
3.2 Les chromosomes	
3.3 La méiose	
3.4 L'hérédité	
3.5 La modification génétique et la biotechnologie	

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
Thème 4 – L'écologie	12
4.1 Les espèces, les communautés et les écosystèmes	
4.2 Le flux d'énergie	
4.3 Le cycle du carbone	
4.4 Le changement climatique	
Thème 5 – L'évolution et la biodiversité	12
5.1 Les preuves de l'évolution	
5.2 La sélection naturelle	
5.3 La classification de la biodiversité	
5.4 La cladistique	
Thème 6 – La physiologie humaine	20
6.1 La digestion et l'absorption	
6.2 Le système sanguin	
6.3 La défense contre les maladies infectieuses	
6.4 Les échanges gazeux	
6.5 Les neurones et les synapses	
6.6 Les hormones, l'homéostasie et la reproduction	
Module complémentaire du niveau supérieur (MCNS)	60 heures
Thème 7 – Les acides nucléiques	9
7.1 La structure et la réplication de l'ADN	
7.2 La transcription et l'expression génique	
7.3 La traduction	
Thème 8 – Le métabolisme, la respiration cellulaire et la photosynthèse	
8.1 Le métabolisme	
8.2 La respiration cellulaire	
8.3 La photosynthèse	
Thème 9 – La biologie végétale	13
9.1 Le transport dans le xylème des plantes	
9.2 Le transport dans le phloème des plantes	

	Nombre d'heures d'enseignement recommandé
9.3 La croissance des plantes	
9.4 La reproduction des plantes	
Thème 10 – La génétique et l'évolution	8
10.1 La méiose	
10.2 L'hérédité	
10.3 Les pools géniques et la spéciation	
Thème 11 – La physiologie animale	16
11.1 La production d'anticorps et la vaccination	
11.2 Le mouvement	
11.3 Le rein et l'osmorégulation	
11.4 La reproduction sexuée	
Options 15 heures (NM) / 25 heures (NS)	
A. La neurobiologie et le comportement	
Thèmes du tronc commun	
A.1 Le développement neural	
A.2 Le cerveau humain	
A.3 La perception des stimuli	
Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur	
A.4 Le comportement inné et le comportement acquis	
A.5 La neuropharmacologie	
A.6 L'éthologie	
B. La biotechnologie et la bioinformatique	
Thèmes du tronc commun	
B.1 La microbiologie : les organismes dans l'industrie	
B.2 La biotechnologie en agriculture	
B.3 La protection de l'environnement	
Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur	
B.4 La médecine	
B.5 La bioinformatique	

C. L'écologie et la protection de l'environnement

Thèmes du tronc commun

- C.1 Les espèces et les communautés
- C.2 Les communautés et les écosystèmes
- C.3 L'impact de l'être humain sur les écosystèmes
- C.4 La protection de la biodiversité

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

- C.5 L'écologie des populations
- C.6 Les cycles de l'azote et du phosphore

D. La physiologie humaine

Thèmes du tronc commun

- D.1 La nutrition humaine
- D.2 La digestion
- D.3 Les fonctions du foie
- D.4 Le cœur

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

- D.5 Les hormones et le métabolisme
- D.6 Le transport des gaz respiratoires

Idée essentielle : l'évolution des organismes multicellulaires a permis la spécialisation et le remplacement des cellules.

1.1 Introduction aux cellules	
<p>Nature de la science</p> <p>Recherche des tendances et des divergences : la plupart des organismes se conforment à la théorie cellulaire, mais il y a des exceptions. (3.1)</p> <p>Implications éthiques de la recherche : la recherche impliquant les cellules souches tient une place de plus en plus importante et elle soulève des questions d'ordre éthique. (4.5)</p>	<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selon la théorie cellulaire, les organismes vivants se composent de cellules. • Les organismes composés d'une seule cellule effectuent toutes les fonctions de la vie dans cette cellule. • Le rapport surface/volume est important pour limiter la taille de la cellule. • Les organismes multicellulaires ont des propriétés qui émergent de l'interaction entre leurs composantes cellulaires. • Les tissus spécialisés peuvent se développer par différenciation cellulaire dans les organismes multicellulaires. • La différenciation implique l'expression de certains gènes, mais pas d'autres dans le génome d'une cellule. • L'aptitude qu'ont les cellules souches à se diviser et à se différencier en empruntant des voies différentes est nécessaire dans le développement embryonnaire ; c'est grâce à cette aptitude qu'elles conviennent pour être utilisées à des fins thérapeutiques.
	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • La recherche sur les cellules souches a reposé sur le travail d'équipes de scientifiques de nombreux pays qui échangent leurs résultats, ce qui accélère le progrès. Toutefois, les gouvernements nationaux sont influencés par les traditions locales, culturelles et religieuses qui ont un impact sur le travail des scientifiques et l'utilisation des cellules souches à des fins thérapeutiques. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il existe une différence entre l'environnement vivant et l'environnement non vivant. Comment pouvons-nous connaître la différence ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des cellules souches pour traiter la maladie se trouve encore en grande partie au stade expérimental, à l'exception des cellules souches de moelle osseuse. Néanmoins, les scientifiques envisagent d'utiliser les cellules souches à des fins thérapeutiques dans un proche avenir en tant que méthode de traitement standard de tout un éventail de maladies dont, entre autres, la cardiopathie et le diabète.

1.1 Introduction aux cellules	
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la présentation de questions sur la théorie cellulaire en utilisant des exemples atypiques, notamment les muscles striés, les algues géantes et les hyphes fongiques non cloisonnées. • Application : l'examen des fonctions de la vie chez <i>Paramecium</i> et un organisme unicellulaire photosynthétique nommé. • Application : l'utilisation des cellules souches pour traiter la maladie de Stargardt et une autre affection nommée. • Application : les aspects éthiques de l'utilisation à des fins thérapeutiques de cellules souches provenant d'embryons créés tout spécialement à cette fin, du cordon ombilical d'un nouveau-né et des propres tissus d'un adulte. • Compétence : l'utilisation d'un microscope optique pour examiner la structure de cellules et de tissus, avec schémas des cellules. Le calcul du grossissement des schémas et de la taille réelle des structures et ultrastructures représentées sur les schémas ou les photos prises au microscope. (Exercice de travaux pratiques 1) 	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : la recherche sur les cellules souches, qu'elles proviennent d'êtres humains ou d'autres animaux, soulève des questions d'ordre éthique. L'utilisation de cellules souches embryonnaires implique la mort d'embryons à un stade précoce mais, si le clonage à des fins thérapeutiques est développé avec succès, la souffrance des patients qui présentent un large éventail d'affections pourrait être soulagée. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • On s'attend à ce que les élèves puissent nommer et décrire brièvement les fonctions de la vie suivantes : la nutrition, le métabolisme, la croissance, la réponse, l'excrétion, l'homéostasie et la reproduction. • <i>Chlorella</i> ou <i>Scenedesmus</i> sont des organismes unicellulaires photosynthétiques adéquats mais il faut éviter de nommer <i>Euglena</i> car elle peut se nourrir par voie hétérotrophe. • Les échelles graphiques sont un moyen utile pour indiquer les tailles réelles sur les schémas et les photographies prises au microscope.

Idée essentielle : les eucaryotes ont une structure cellulaire beaucoup plus complexe que les procaryotes.

1.2 L'ultrastructure des cellules	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en matière de recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils ; l'invention des microscopes électroniques a permis de mieux comprendre la structure cellulaire. (1.8)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les procaryotes ont une structure cellulaire simple sans compartimentation. Les eucaryotes ont une structure cellulaire compartimentée. Les microscopes électroniques ont une bien plus grande résolution que les microscopes optiques. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la structure et la fonction des organites au sein des cellules glandulaires exocrines du pancréas et des cellules du parenchyme palissadique de la feuille. Application : les procaryotes se divisent par fission binaire. Compétence : schématiser l'ultrastructure des cellules procaryotes d'après des photographies prises au microscope électronique. Compétence : schématiser l'ultrastructure des cellules eucaryotes d'après des photographies prises au microscope électronique. Compétence : interpréter des photographies prises au microscope électronique pour identifier des organites et déduire la fonction de cellules spécialisées. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les schémas de cellules procaryotes doivent indiquer les pili, les flagelles, la paroi cellulaire et la membrane plasmique englobant le cytoplasme qui contient des ribosomes 70S et un nucléoïde avec ADN nu. Les schémas de cellules eucaryotes doivent indiquer une membrane plasmique englobant le cytoplasme qui contient des ribosomes 80S et un noyau ; des mitochondries et d'autres organites membranaires sont présents dans le cytoplasme. Certaines cellules eucaryotes possèdent une paroi cellulaire. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les microscopes ont été inventés simultanément dans diverses parties du globe à une époque où les informations circulaient lentement. Les communications modernes ont permis d'améliorer l'aptitude à collaborer, enrichissant ainsi les entreprises scientifiques. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le monde que nous habitons est limité par le monde que nous voyons. Peut-on faire la distinction entre des assertions reposant sur des observations faites par perception des sens et des assertions reposant sur des observations aidées par la technologie ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Physique Thème 4.4 Phénomènes ondulatoires Thème C.1 Introduction à l'imagerie Thème C.3 Fibres optiques</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : dans les sciences, les développements comme la microscopie électronique peuvent apporter des bénéfices économiques car ils donnent aux sociétés commerciales des possibilités de faire des profits, mais cela risque d'affecter la coopération entre scientifiques.

Idée essentielle : la structure des membranes biologiques leur confère fluidité et dynamisme.

1.3 La structure des membranes	
<p>Nature de la science</p> <p>Utilisation de modèles pour représenter le monde réel ; il existe des modèles alternatifs de la structure des membranes. (1.11)</p> <p>La falsification des théories, l'une étant remplacée par une autre ; des preuves ont falsifié le modèle de Davson-Danielli. (1.9)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les phospholipides forment des bicouches dans l'eau en raison des propriétés amphipathiques des molécules phospholipidiques. • Les protéines membranaires sont diverses en ce qui concerne leur structure, leur position dans la membrane et leur fonction. • Le cholestérol est un constituant des membranes des cellules animales. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : dans les cellules de mammifères, le cholestérol réduit la fluidité membranaire et la perméabilité à certains solutés. • Compétence : schématiser le modèle de la mosaïque fluide. • Compétence : analyser les preuves obtenues par microscopie électronique qui ont conduit à la proposition du modèle de Davson-Danielli. • Compétence : analyser la falsification du modèle de Davson-Danielli qui a conduit au modèle de Singer-Nicolson. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les phospholipides amphipathiques ont des propriétés à la fois hydrophiles et hydrophobes. • Les schémas du modèle de la mosaïque fluide de la structure des membranes peut être bidimensionnel au lieu de tridimensionnel. Les molécules de phospholipides individuels doivent être montrées en utilisant le symbole d'un cercle auquel sont attachées deux lignes parallèles. Il convient de montrer une gamme de protéines membranaires, notamment des glycoprotéines. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • La structure de la membrane plasmique a été expliquée différemment au fil des ans, à la lumière de nouvelles preuves et méthodes d'analyse. Dans quelles circonstances est-il important de connaître des théories qui ont été discréditées par la suite ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie</p> <p>Thème 2.3 Les glucides et les lipides</p> <p>Thème 2.6 La structure de l'ADN et de l'ARN</p>

Idée essentielle : les membranes contrôlent la composition des cellules par transport actif et passif.

1.4 Le transport transmembranaire	
<p>Nature de la science</p> <p>Le modèle expérimental : dans les expériences ayant trait à l'osmose, des mesures quantitatives précises sont essentielles. (3.1)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les particules se déplacent au travers des membranes par simple diffusion, par diffusion facilitée, par osmose et par transport actif. • La fluidité des membranes permet aux substances de passer dans les cellules par endocytose ou d'être libérées par exocytose. Les vésicules déplacent les substances dans les cellules. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la structure et la fonction des pompes à sodium-potassium pour le transport actif et les canaux potassiques pour la diffusion facilitée dans les axones. • Application : les tissus ou les organes devant être utilisés dans des procédures médicales doivent être plongés dans une solution de même osmolarité que le cytoplasme pour éviter l'osmose. • Compétence : estimer l'osmolarité dans les tissus en plongeant des échantillons dans des solutions hypotoniques et hypertoniques. (Exercice de travaux pratiques 2). <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les expériences relatives à l'osmose constituent une bonne occasion de souligner l'importance des mesures précises de la masse et du volume dans les expériences scientifiques. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • La dialyse rénale imite artificiellement la fonction du rein humain en utilisant des membranes et des gradients de diffusion appropriés. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 6.5 Les neurones et les synapses</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les dons d'organes soulèvent quelques questions d'ordre éthique intéressantes, entre autres la nature altruiste des dons d'organes et les craintes qu'implique la vente d'organes humains. • Objectif global 6 : des expériences avec la tubulure de dialyse peuvent modéliser l'action transmembranaire. Des expériences avec la pomme de terre, la betterave ou les algues unicellulaires peuvent servir pour examiner de vraies membranes.

Idée essentielle : il existe une chaîne de vie non fragmentée entre les premières cellules apparues sur la Terre et toutes les cellules des organismes vivants d'aujourd'hui.

1.5 L'origine des cellules	
<p>Nature de la science</p> <p>La mise à l'épreuve des principes généraux sous-jacents au monde naturel : le principe selon lequel les cellules proviennent uniquement de cellules préexistantes doit être vérifié. (1.9)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La biologie est l'étude de la vie, et pourtant, la vie est une propriété émergente. Dans quelles circonstances l'approche systémique est-elle productive en biologie, et dans quelles circonstances une approche réductionniste convient-elle mieux ? Comment les biologistes choisissent-ils entre des approches concurrentielles ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 5.1 Les preuves de l'évolution</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : l'expérience de Pasteur peut être refaite avec des appareils modernes.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les cellules peuvent se former uniquement par la division de cellules préexistantes. Les premières cellules ont dû avoir pour origine du matériel non vivant. L'origine des cellules eucaryotes peut s'expliquer par la théorie endosymbiotique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les preuves obtenues des expériences de Pasteur montrant que la génération spontanée de cellules et d'organismes ne se produit pas maintenant sur la Terre. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Des preuves de la théorie endosymbiotique sont attendues. Il n'est pas nécessaire d'inclure l'origine des cils et des flagelles des eucaryotes. Les élèves doivent savoir que les 64 codons du code génétique ont les mêmes significations dans presque tous les organismes, mais que certaines variations mineures sont susceptibles d'être apparues depuis l'origine commune de la vie sur la Terre. 	

Idée essentielle : la division cellulaire est essentielle mais elle doit être contrôlée.

1.6 La division cellulaire	
<p>Nature de la science</p> <p>La sérendipité et les découvertes scientifiques : la découverte des cyclines était accidentelle. (1.4)</p> <p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mitose est la division du noyau en deux noyaux génétiquement identiques. • Les chromosomes se condensent par super-enroulement durant la mitose. • La cytokinèse se produit après la mitose et elle diffère dans les cellules végétales et animales. • L'interphase est une phase très active du cycle cellulaire au cours de laquelle de nombreux processus se déroulent dans le noyau et le cytoplasme. • Les cyclines sont impliquées dans le contrôle du cycle cellulaire. • Les mutagènes, les oncogènes et la métastase interviennent au niveau du développement des tumeurs primaires et secondaires. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la corrélation entre le tabagisme et l'incidence des cancers. • Compétence : l'identification des phases de la mitose telles qu'observées au microscope ou sur une photographie prise au microscope. • Compétence : la détermination d'un indice mitotique à partir d'une photographie prise au microscope. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La séquence des événements dans les quatre phases de la mitose doit être connue. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les biologistes des laboratoires du monde entier mènent des recherches sur les causes et le traitement du cancer. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un certain nombre de découvertes scientifiques sont attribuées à des accidents ou à un heureux hasard. Dans quelle mesure certaines de ces découvertes scientifiques pourraient-elles être dues à l'intuition et non à la chance ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'indice mitotique est un important outil pronostique servant à prédire comment les cellules cancéreuses vont réagir à la chimiothérapie. <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : une discussion pourrait porter sur l'industrie du tabac. La suppression des résultats de la recherche sur les effets du tabagisme sur la santé par les sociétés productrices de tabac était contraire à l'éthique. Le tabagisme est considérablement nocif sur le plan social mais, mis à part les lois sur la production et la fourniture au Bhoutan, celui-ci n'a jamais été rendu illégal.

1.6 La division cellulaire

- La préparation de lames fraîches de racines écrasées est recommandée mais les phases de la mitose peuvent aussi être vues en utilisant des lames permanentes.
- Pour éviter toute confusion en matière de terminologie, on incite les enseignants à appeler les deux parties d'un chromosome « chromatides sœurs » lorsqu'elles sont reliées entre elles par un centromère durant les premiers stades de la mitose. À partir de l'anaphase, quand les chromatides sœurs se sont séparées pour former des structures individuelles, on doit les appeler chromosomes.

Idée essentielle : les organismes vivants contrôlent leur composition par un réseau complexe de réactions chimiques.

2.1 Des molécules au métabolisme	
<p>Nature de la science</p> <p>La falsification des théories : la synthèse artificielle de l'urée a aidé à falsifier le vitalisme. (1.9)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Chimie Thème 4 La liaison et la structure chimiques Option B. La biochimie</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : les TIC peuvent être utilisées pour la visualisation moléculaire des glucides, des lipides et des protéines dans ce sujet et dans 2.3 et 2.4. • Objectif global 6 : des tests alimentaires comme l'utilisation de l'iode pour identifier l'amidon ou la solution de Benedict pour identifier les sucres réducteurs peuvent être effectués.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La biologie moléculaire explique les processus vivants par le biais des substances chimiques impliquées. • Les atomes de carbone peuvent former quatre liaisons covalentes qui permettent l'existence d'une diversité de composés stables. • La vie repose sur des composés carbonés tels que les glucides, les lipides, les protéines et les acides nucléiques. • Le métabolisme est le réseau de toutes les réactions catalysées par les enzymes qui se produisent dans une cellule ou un organisme. • L'anabolisme est la synthèse de molécules complexes à partir de molécules plus simples, notamment la formation de macromolécules à partir de monomères, par l'intermédiaire de réactions de condensation. • Le catabolisme est la dégradation de molécules complexes en molécules plus simples, notamment l'hydrolyse de macromolécules en monomères. 	

2.1 Des molécules au métabolisme

Applications et compétences

- Application : l'urée est un exemple de composé qui est produit par des organismes vivants mais qui peut également être synthétisé artificiellement.
- Compétence : dessiner des diagrammes moléculaires du glucose, du ribose, d'un acide gras saturé et d'un acide aminé généralisé.
- Compétence : identifier des produits biochimiques tels que des sucres, des lipides ou des acides aminés à partir de diagrammes moléculaires.

Directives et informations supplémentaires

- Seules les formes annulaires du D-ribose, de l'alpha-D-glucose et du bêta-D-glucose sont attendues dans les schémas.
- Les sucres incluent les monosaccharides et les disaccharides.
- On s'attend à ce qu'une seule graisse saturée soit mentionnée et son nom spécifique n'est pas nécessaire.
- Le radical variable des acides aminés peut être indiqué par R. Il n'est pas nécessaire de mémoriser la structure des groupes R individuels.
- Les élèves doivent reconnaître, à partir de diagrammes moléculaires, que les triglycérides, les phospholipides et les stéroïdes sont des lipides. Des schémas des stéroïdes ne sont pas attendus.
- Les protéines ou des parties de polypeptides doivent être reconnues sur des diagrammes moléculaires montrant des acides aminés liés par des liaisons peptidiques.

Idée essentielle : l'eau est le milieu permettant la vie.

<p>2.2 L'eau</p>	<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation des théories pour expliquer les phénomènes naturels : la théorie selon laquelle des liaisons hydrogène se forment entre les molécules d'eau explique ses propriétés. (2.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les molécules d'eau sont polaires et des liaisons hydrogène se forment entre elles. • Les liaisons hydrogène et la dipolarité expliquent les propriétés cohésives, adhésives, thermiques et solvantes de l'eau. • Les substances peuvent être hydrophiles ou hydrophes. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la comparaison des propriétés thermiques de l'eau avec celles du méthane. • Application : l'utilisation de l'eau en tant que liquide de refroidissement dans la sueur. • Application : les modes de transport du glucose, des acides aminés, du cholestérol, des graisses, de l'oxygène et du chlorure de sodium dans le sang, selon leur solubilité dans l'eau. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les élèves doivent connaître au moins un exemple de bénéfice qu'apporte chaque propriété de l'eau aux organismes vivants. • Il n'est pas nécessaire d'inclure la transparence de l'eau et la densité maximale à 4°C. • Comparer les propriétés thermiques de l'eau avec celles du méthane aide à comprendre l'importance des liaisons hydrogène dans l'eau. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le partage équitable des ressources en eau pour se désaltérer, irriguer, produire de l'électricité et réaliser toute une gamme de processus industriels et domestiques pose un défi à la population humaine toujours croissante. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des assertions au sujet de la « mémoire de l'eau » ont été catégorisées comme pseudoscientifiques. Quels critères peuvent être utilisés pour faire la distinction entre des assertions scientifiques et des assertions pseudoscientifiques ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 4.3 Le cycle du carbone Thème 4.4 Le changement climatique Physique Thème 3.1 Concepts de thermique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : des sondes peuvent être utilisées pour déterminer l'effet de divers facteurs susceptibles d'influencer le refroidissement par l'eau. 	

Idee essentielle : les composés du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène servent à fournir et à stocker de l'énergie.

2.3 Les glucides et les lipides	
<p>Nature de la science L'évaluation d'assertions : les assertions concernant les lipides dans les régimes alimentaires doivent être évaluées. (5.2)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les monomères des monosaccharides sont liés entre eux par des réactions de condensation et ils forment ainsi des polymères de disaccharides et de polysaccharides. • Les acides gras peuvent être saturés, monoinsaturés ou polyinsaturés. • Les acides gras insaturés peuvent être des isomères cis ou trans. • Les triglycérides sont formés par condensation à partir de trois acides gras et d'un glycérol. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la structure et la fonction de la cellulose et de l'amidon dans les plantes et du glycogène chez les êtres humains. • Application : les preuves scientifiques des risques que présentent les graisses trans et les acides gras saturés pour la santé. • Application : les lipides conviennent mieux que les glucides pour stocker de l'énergie à long terme chez les êtres humains. • Application : l'évaluation des preuves et les méthodes utilisées pour obtenir des preuves sur les assertions faites au sujet des lipides et de la santé. • Compétence : l'utilisation d'un logiciel de visualisation moléculaire pour comparer la cellulose, l'amidon et le glycogène. • Compétence : la détermination de l'indice de masse corporelle par calcul ou à l'aide d'un nomogramme. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • On pourrait discuter de la variation de la prévalence de divers problèmes de santé dans le monde entier tels que l'obésité, la carence en énergie diététique, le kwashiorkor, l'anorexie mentale et la coronaropathie. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les opinions concernant les effets nocifs et les bénéfices des graisses dans les régimes alimentaires sont contradictoires. Comment décidons-nous entre des opinions contradictoires ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les pommes de terre ont été génétiquement modifiées afin de réduire le taux d'amylose et en vue de produire un adhésif plus efficace. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Option B. La biotechnologie et la bioinformatique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : l'obésité a des implications sociales.

2.3 Les glucides et les lipides

Directives et informations supplémentaires

- La structure de l'amidon doit inclure l'amylose et l'amylopectine.
- Il n'est pas nécessaire de nommer des exemples d'acides gras.
- Le sucrose, le lactose et le maltose doivent être cités en tant qu'exemples de disaccharides produits par association de monosaccharides.

Idée essentielle : les protéines ont un très large éventail de fonctions dans les organismes vivants.

2.4 Les protéines	
<p>Nature de la science</p> <p>Recherche de patterns, de tendances et de divergences : la plupart des organismes mais pas tous assemblent des protéines à partir de mêmes acides aminés. (3.1)</p>	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La protéomique et la production de protéines par des cellules cultivées dans des cuves de fermentation offrent de nombreuses opportunités à l'industrie alimentaire, à l'industrie pharmaceutique et à d'autres industries. <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : les TIC peuvent être utilisées pour la visualisation moléculaire de la structure des protéines. Objectif global 8 : l'obtention d'échantillons de sang humain dans le cadre d'études immunologiques, pharmaceutiques et anthropologiques est une entreprise internationale qui implique de nombreux problèmes d'ordre éthique.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les acides aminés sont liés entre eux par condensation pour former des polypeptides. Il existe vingt acides aminés différents dans les polypeptides synthétisés sur les ribosomes. Les acides aminés peuvent être reliés entre eux selon n'importe quelle séquence, ce qui donne une large gamme de polypeptides possibles. Les gènes codent la séquence des acides aminés des polypeptides. Une protéine peut comprendre un seul polypeptide ou plusieurs polypeptides liés entre eux. La séquence des acides aminés détermine la conformation tridimensionnelle d'une protéine. Les organismes vivants synthétisent de nombreuses protéines différentes qui ont un large éventail de fonctions. Chaque individu possède un protéome unique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la Rubisco (RuDP carboxylase), l'insuline, les immunoglobulines, la rhodopsine, le collagène et la soie d'araignée en tant qu'exemples de la gamme des fonctions des protéines. Application : la dénaturation des protéines par la chaleur ou par écart du pH par rapport au pH optimum. Compétence : dessiner des diagrammes moléculaires pour montrer la formation d'une liaison peptidique. 	

2.4 Les protéines

Directives et informations supplémentaires

- Il n'est pas nécessaire de représenter la structure détaillée des six protéines sélectionnées pour illustrer les fonctions des protéines.
- Le blanc d'œuf ou des solutions d'albumine peuvent être utilisés lors d'expériences sur la dénaturation.
- Les élèves doivent savoir que la plupart des organismes utilisent les mêmes 20 acides aminés dans le même code génétique, bien qu'il y ait quelques exceptions. Des exemples spécifiques peuvent être utilisés à titre d'illustration.

Idée essentielle : les enzymes contrôlent le métabolisme de la cellule.

2.5 Les enzymes	
<p>Nature de la science</p> <p>Le modèle expérimental : dans les expériences sur les enzymes, les mesures quantitatives précises doivent être répétées pour assurer la fiabilité. (3.2)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le développement de certaines techniques apporte des bénéfices à certaines populations humaines particulières plus qu'à d'autres. Par exemple, le développement de lait sans lactose disponible en Europe et en Amérique du Nord pourrait être plus bénéfique en Afrique ou en Asie où la prévalence de l'intolérance au lactose est plus élevée. Le développement de techniques exige des investissements financiers. Les connaissances devraient être partagées quand des techniques développées dans une région du globe sont plus pertinentes dans une autre région ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les enzymes sont extensivement utilisées dans l'industrie pour la production d'articles allant du jus de fruits à la lessive. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 8 – Le métabolisme, la respiration et la photosynthèse (MCNS)</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les enzymes ont un site actif sur lequel des substrats spécifiques viennent se fixer. La catalyse enzymatique implique le mouvement moléculaire et la collision de substrats avec le site actif. La température, le pH et la concentration du substrat affectent le taux d'activité enzymatique. Les enzymes peuvent être dénaturées. Les enzymes immobilisées sont largement utilisées dans l'industrie. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les méthodes de production de lait sans lactose et ses avantages. Compétence : la conception d'expériences pour tester l'effet de la température, du pH et de la concentration du substrat sur l'activité enzymatique. Compétence : l'étude expérimentale d'un facteur affectant l'activité des enzymes. (Exercice de travaux pratiques 3). <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> La lactase peut être immobilisée dans des billes d'alginate et des expériences dans lesquelles le lactose du lait est hydrolysé peuvent être réalisées. Les élèves doivent pouvoir tracer des graphiques pour montrer les effets attendus de la température, du pH et de la concentration du substrat sur l'activité enzymatique. Ils doivent pouvoir expliquer les patterns ou les tendances apparaissant sur ces graphiques. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le développement de certaines techniques apporte des bénéfices à certaines populations humaines particulières plus qu'à d'autres. Par exemple, le développement de lait sans lactose disponible en Europe et en Amérique du Nord pourrait être plus bénéfique en Afrique ou en Asie où la prévalence de l'intolérance au lactose est plus élevée. Le développement de techniques exige des investissements financiers. Les connaissances devraient être partagées quand des techniques développées dans une région du globe sont plus pertinentes dans une autre région ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les enzymes sont extensivement utilisées dans l'industrie pour la production d'articles allant du jus de fruits à la lessive. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 8 – Le métabolisme, la respiration et la photosynthèse (MCNS)</p>

Idée essentielle : la structure de l'ADN permet le stockage efficace des informations génétiques.

2.6 La structure de l'ADN et de l'ARN	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : Crick et Watson ont fabriqué des modèles pour découvrir la structure de l'ADN. (1.10)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> L'histoire de l'élucidation de la structure de l'ADN montre que les scientifiques coopèrent et collaborent et que les groupes de recherche se font concurrence. Dans quelle mesure la recherche menée secrètement est-elle « anti-scientifique » ? Quel est le rapport entre les connaissances partagées et les connaissances personnelles en sciences naturelles ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.2 L'eau Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie Thème 7 Les acides nucléiques</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les acides nucléiques ADN et ARN sont des polymères de nucléotides. L'ADN diffère de l'ARN par le nombre de brins présents, la composition des bases azotées et le type de pentose. L'ADN est une double hélice formée de deux brins de nucléotides antiparallèles liés par des liaisons hydrogène entre des paires de bases complémentaires. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : l'élucidation de la structure de l'ADN par Crick and Watson en fabriquant des modèles. Compétence : dessiner de simples diagrammes de la structure de nucléotides isolés et d'ADN et d'ARN en utilisant des cercles, des pentagones et des rectangles pour représenter les phosphates, les pentoses et les bases. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans les diagrammes de la structure de l'ADN, il n'est pas nécessaire de représenter la forme hélicoïdale, par contre, les deux brins doivent être antiparallèles. Il faudra montrer que l'adénine est appariée à la thymine et que la guanine l'est à la cytosine, mais il n'est pas nécessaire de se rappeler des longueurs relatives des bases purines et pyrimidines, pas plus qu'il n'est nécessaire d'indiquer le nombre de liaisons hydrogène entre les paires de bases. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> L'histoire de l'élucidation de la structure de l'ADN montre que les scientifiques coopèrent et collaborent et que les groupes de recherche se font concurrence. Dans quelle mesure la recherche menée secrètement est-elle « anti-scientifique » ? Quel est le rapport entre les connaissances partagées et les connaissances personnelles en sciences naturelles ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.2 L'eau Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie Thème 7 Les acides nucléiques</p>

Idée essentielle : les informations génétiques contenues dans l'ADN peuvent être copiées exactement puis traduites pour former les protéines requises par la cellule.

2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction	
<p>Nature de la science</p> <p>L'obtention de preuves pour des théories scientifiques : Meselson et Stahl ont obtenu des preuves de la réplication semi-conservative de l'ADN. (1.8)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie Thème 7.2 La transcription et l'expression génique Thème 7.3 La traduction</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : la modification du génome d'un organisme en vue de produire des protéines à utiliser à des fins médicales chez l'être humain a des implications d'ordre éthique.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La réplication de l'ADN est semi-conservative et elle dépend de l'appariement des paires de bases complémentaires. • L'hélicase déroule la double hélice et sépare les deux brins en brisant les liaisons hydrogène. • L'ADN polymérase lie les nucléotides entre eux pour former un nouveau brin, le brin préexistant lui servant de matrice. • La transcription est la synthèse de l'ARNm copiée par l'ARN polymérase à partir des séquences de bases de l'ADN. • La traduction est la synthèse des polypeptides sur les ribosomes. • La séquence des acides aminés des polypeptides est déterminée par l'ARNm d'après le code génétique. • Les codons de trois bases sur l'ARNm correspondent à un acide aminé dans un polypeptide. • La traduction dépend de l'appariement des bases complémentaires entre les codons sur l'ARNm et les anticodons sur l'ARNt. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'utilisation de la Taq ADN polymérase pour produire rapidement de multiples copies d'ADN par amplification en chaîne par polymérase (ACP). • Application : la production d'insuline humaine dans les bactéries à titre d'exemple de l'universalité du code génétique, ce qui permet le transfert de gènes d'une espèce à une autre. 	

2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction

- Compétence : l'utilisation d'un tableau du code génétique pour en déduire le ou les codons qui correspondent à tel ou tel acide aminé.
- Compétence : l'analyse des résultats de Meselson et Stahl pour appuyer la théorie de la réplication semi-conservative de l'ADN.
- Compétence : l'utilisation d'un tableau des codons de l'ARNm et de leurs acides aminés correspondants pour en déduire la séquence des acides aminés codés par un brin court d'ARNm dont la séquence des bases est connue.
- Compétence : la déduction de la séquence des bases de l'ADN pour le brin d'ARNm.

Directives et informations supplémentaires

- Il n'est pas nécessaire de faire la distinction entre les divers types de polymérase de l'ADN.

Idée essentielle : la respiration cellulaire fournit de l'énergie pour les fonctions de la vie.

2.8 La respiration cellulaire	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation de l'éthique de la recherche scientifique : l'utilisation d'invertébrés pour réaliser des expériences avec un respiromètre a des implications d'ordre éthique. (4.5)</p>	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : l'éthique de l'utilisation d'animaux dans des expériences utilisant un respiromètre pourrait faire l'objet d'une discussion. L'utilisation à grande échelle de plantes alimentaires pour biocarburants, et l'impact sur les prix des denrées qui en résulte, ont des implications d'ordre éthique.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La respiration cellulaire est la libération contrôlée d'énergie provenant de composés organiques pour produire de l'ATP. • L'ATP découlant de la respiration cellulaire est immédiatement disponible en tant que source d'énergie dans la cellule. • La respiration cellulaire anaérobie produit un petit rendement d'ATP à partir du glucose. • La respiration cellulaire aérobie nécessite de l'oxygène et produit un grand rendement d'ATP à partir du glucose. 	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'utilisation de la respiration cellulaire anaérobie dans les levures pour produire de l'éthanol et du dioxyde de carbone dans la cuisson. • Application : la production de lactate chez les êtres humains quand on utilise la respiration anaérobie pour maximiser le pouvoir des contractions musculaires. • Compétence : l'analyse des résultats d'expériences impliquant la mesure des taux de respiration dans des graines en germination ou chez des invertébrés en utilisant un respiromètre.
<p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les détails des voies métaboliques de la respiration cellulaire ne sont pas requis mais il faut connaître les substrats et les déchets finals. • On peut utiliser de nombreux respiromètres simples. Les élèves doivent savoir que l'on utilise un alcali pour absorber le CO₂, et que, par conséquent, les réductions du volume sont dues à l'utilisation de l'oxygène. La température doit être gardée constante afin d'éviter les changements de volume découlant des fluctuations de la température. 	

Idée essentielle : la photosynthèse utilise l'énergie de la lumière solaire pour produire l'énergie chimique nécessaire à la vie.

<p>2.9 La photosynthèse</p>	
<p>Nature de la science</p> <p>Le modèle expérimental : il est crucial de contrôler les variables pertinentes dans les expériences ayant trait à la photosynthèse. (3.1)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La photosynthèse est la production de composés carbonés dans les cellules en utilisant l'énergie lumineuse. • La lumière visible possède une gamme de longueurs d'onde, le violet correspondant à la longueur d'onde la plus courte et le rouge à la longueur d'onde la plus longue. • La chlorophylle absorbe plus efficacement la lumière rouge et la lumière bleue et elle reflète la lumière verte plus que les autres couleurs. • Durant la photosynthèse, il y a production d'oxygène par photolyse de l'eau. • De l'énergie est requise pour produire des glucides et d'autres composés carbonés à partir du dioxyde de carbone. • La température, l'intensité lumineuse et la concentration du dioxyde de carbone sont des facteurs susceptibles de limiter le taux de photosynthèse. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les changements de l'atmosphère, des océans et des dépôts de roches de la Terre causés par la photosynthèse. • Compétence : dessiner un spectre d'absorption pour la chlorophylle et un spectre d'action pour la photosynthèse. • Compétence : concevoir des expériences pour étudier l'effet des facteurs limitants sur la photosynthèse. • Compétence : la séparation des pigments photosynthétiques par chromatographie. (Exercice de travaux pratiques 4). 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.5 Les enzymes</p>

2.9 La photosynthèse**Directives et informations supplémentaires**

- Les élèves doivent savoir que la lumière visible a des longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nanomètres, mais on ne s'attend pas à ce qu'ils se rappellent des longueurs d'onde de couleurs spécifiques de la lumière.
- On peut produire de l'eau exempte de dioxyde de carbone pour des expériences sur la photosynthèse en la faisant bouillir et refroidir.
- On peut utiliser la chromatographie sur papier pour séparer les pigments photosynthétiques mais la chromatographie en couche mince donne de meilleurs résultats.

Idée essentielle : le tracé de vie de chaque organisme est hérité de ses parents.

3.1 Les gènes	
Nature de la science Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations en technologie ; les séquenceurs de gènes sont utilisés pour le séquençage des gènes. (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un gène est un facteur héréditaire qui se compose d'une longueur d'ADN et qui influence une caractéristique spécifique. • Un gène occupe une position spécifique sur un chromosome. • Les diverses formes spécifiques d'un gène sont des allèles. • Les allèles diffèrent entre eux par une base ou de quelques bases seulement. • De nouveaux allèles sont formés par mutation. • Le génome est l'ensemble des informations génétiques d'un organisme. • Toute la séquence des bases des gènes humains a été séquencée dans le cadre du projet du génome humain. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les causes de l'anémie à cellules falciformes, y compris une mutation de substitution de bases, un changement de la séquence des bases de l'ARNm transcrite à partir de celle-ci et un changement de la séquence d'un polypeptide dans l'hémoglobine. • Application : la comparaison du nombre de gènes chez les êtres humains et d'autres espèces. • Compétence : l'utilisation d'une base de données pour déterminer les différences dans la séquence des bases d'un gène chez deux espèces. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le séquençage du génome humain montre que tous les êtres humains partagent la vaste majorité de leurs séquences de bases, mais également que de nombreux polymorphismes de mononucléotides contribuent à la diversité humaine. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il existe un lien entre l'anémie à cellules falciformes et la prévalence du paludisme. Dans de tels cas, comment pouvons-nous savoir s'il existe un lien de causalité ou s'il s'agit simplement d'une corrélation ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : l'utilisation d'une base de données pour comparer les séquences des bases de l'ADN. • Objectif global 8 : l'éthique en matière d'obtention de brevets relatifs aux gènes humains.

3.1 Les gènes

Directives et informations supplémentaires

- Les élèves doivent pouvoir se rappeler d'une substitution de bases spécifique qui provoque le remplacement de l'acide glutamique par la valine en tant que sixième acide aminé dans le polypeptide de l'hémoglobine.
- Il faut éviter de parler du nombre de gènes en termes de « taille du génome » car cette expression est réservée à la quantité totale d'ADN. Il convient d'inclure au moins une plante et une bactérie dans la comparaison, et au moins une espèce possédant plus de gènes et une autre possédant moins de gènes que l'être humain.
- La base de données GenBank® peut être utilisée pour rechercher les séquences des bases de l'ADN. La séquence du gène du cytochrome C est disponible pour de nombreux organismes différents ; elle présente un intérêt particulier car elle sert à reclasser les organismes en trois domaines.
- Il n'est pas nécessaire d'inclure les délétions, les insertions et les mutations par décalage du cadre de lecture.

Idée essentielle : les chromosomes portent les gènes en une séquence linéaire qui est commune à tous les membres d'une espèce.

3.2 Les chromosomes	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche succèdent aux améliorations des techniques ; l'autoradiographie a été utilisée pour établir la longueur des molécules d'ADN dans les chromosomes. (1.8)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le séquençage du génome du riz a impliqué la coopération entre les biologistes de dix pays. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 1.6 La division cellulaire</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : la coloration de bouts de racines écrasées et l'examen microscopique des chromosomes sont recommandés mais pas obligatoires. Objectif global 7 : l'utilisation de bases de données pour identifier les locus de gènes et les produits protéiniques des gènes.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les procaryotes possèdent un chromosome qui consiste en une molécule circulaire d'ADN. Certains procaryotes ont également des plasmides alors que les eucaryotes n'en ont pas. Les chromosomes eucaryotes sont des molécules linéaires d'ADN associées à des protéines appelées histones. Dans une espèce eucaryote, des chromosomes différents portent des gènes différents. Des chromosomes homologues portent la même séquence de gènes mais pas nécessairement les mêmes allèles de ces gènes. Les noyaux diploïdes possèdent des paires de chromosomes homologues. Les noyaux haploïdes possèdent un chromosome de chaque paire. Le nombre de chromosomes est une caractéristique type des membres d'une espèce. Un caryogramme montre les chromosomes d'un organisme dans des paires homologues de longueur décroissante. Le sexe est déterminé par les chromosomes sexuels et les autosomes sont des chromosomes qui ne déterminent pas le sexe. 	

3.2 Les chromosomes

Applications et compétences

- Application : la technique de Cairns pour mesurer la longueur des molécules d'ADN par autoradiographie.
- Application : la comparaison de la taille du génome dans le phage T2, *Escherichia coli*, *Drosophila melanogaster*, *Homo sapiens* et *Paris japonica*.
- Application : la comparaison des nombres de chromosomes diploïdes d'*Homo sapiens*, de *Pan troglodytes*, *Canis familiaris*, *Oryza sativa* et *Parascaris equorum*.
- Application : l'utilisation de caryogrammes pour déduire le sexe et diagnostiquer le syndrome de Down chez les êtres humains.
- Compétence : l'utilisation de bases de données pour identifier le locus d'un gène humain et son produit polypeptidique.

Directives et informations supplémentaires

- Les termes caryotype et caryogramme n'ont pas la même signification : « caryotype » désigne une propriété d'une cellule, c'est-à-dire le nombre et le type de chromosomes présents dans le noyau, et non une photographie ou un diagramme de ces derniers.
- La taille du génome correspond à la longueur totale de l'ADN dans un organisme. Les exemples de génome et de nombre de chromosomes ont été sélectionnés pour permettre de soulever des points présentant un intérêt.
- On considère que les deux molécules d'ADN formées par réplication de l'ADN avant la division cellulaire sont des chromatides sœurs jusqu'au partage du centromère au début de l'anaphase. Après cela, ce sont des chromosomes individuels.

Idée essentielle : les allèles se séparent durant la méiose, permettant ainsi la formation de nouvelles associations par fusion de gamètes.

3.3 La méiose	
Nature de la science	
La formulation d'observations attentives : la méiose a été découverte par examen au microscope de la division de cellules germinales. (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un noyau diploïde se divise par méiose pour produire quatre noyaux haploïdes. • La réduction de moitié du nombre de chromosomes permet un cycle de vie sexué avec fusion de gamètes. • L'ADN est répliqué avant la méiose afin que tous les chromosomes comprennent deux chromatides sœurs. • Les stades précoces de la méiose impliquent l'appariement de chromosomes homologues et un enjambement suivi d'une condensation. • L'orientation des paires de chromosomes homologues avant la séparation est aléatoire. • La séparation des paires de chromosomes homologues durant la première division de la méiose réduit le nombre de chromosomes de moitié. • L'enjambement et l'orientation aléatoire favorisent la variation génétique. • La fusion de gamètes provenant de parents différents favorise la variation génétique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la non-disjonction peut provoquer le syndrome de Down et d'autres anomalies chromosomiques. • Application : les études montrant que l'âge des parents influence les chances de non-disjonction. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • En 1922, on avait compté que le nombre de chromosomes présents dans une cellule humaine était de 48, nombre que l'on a accepté pendant 30 ans, bien qu'une révision des preuves photographiques disponibles à l'époque ait montré qu'il y en avait 46. Quelles sont les raisons pour lesquelles les croyances existantes s'accompagnent d'une certaine inertie ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une compréhension des cariotypes a permis de prononcer des diagnostics à des fins de consultation génétique. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 1.6 La division cellulaire Thème 10.1 La méiose Thème 11.4 La reproduction sexuée</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les tests prénatals de dépistage d'anomalies chromosomiques donnent une indication du sexe du fœtus et soulèvent des questions d'ordre éthique dans le contexte de l'avortement sélectif des fœtus femelles dans certains pays.

3.3 La méiose

- Application : la description des méthodes utilisées pour obtenir des cellules pour l'analyse des cariotypes, par exemple, le prélèvement de villosités chorioniques et l'amniocentèse, et les risques qui y sont associés.
- Compétence : dessiner des diagrammes pour montrer les stades de la méiose aboutissant à la formation de quatre cellules haploïdes.

Directives et informations supplémentaires

- La préparation de lames pour microscope montrant la méiose est difficile et il est bon que des lames permanentes soient disponibles au cas où aucune cellule en cours de méiose ne serait visible sur des montages temporaires.
- Les schémas des divers stades de la méiose ne doivent pas inclure les chiasmas.
- Il n'est pas nécessaire d'expliquer le processus de formation des chiasmas.

Idée essentielle : l'hérédité des gènes suit des patterns.

3.4 L'hérédité	
Nature de la science	
Le relevé de mesures quantitatives répétées pour assurer la fiabilité. Les croisements génétiques de Mendel avec des plants de pois ont produit des données numériques. (3.2)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> • Mendel a découvert les principes de l'hérédité en réalisant des expériences dans lesquelles il a croisé de grands nombres de plants de pois. • Les gamètes sont haploïdes ; ils ne contiennent donc qu'un allèle de chaque gène. • Les deux allèles de chaque gène s'isolent dans les noyaux haploïdes différents formés durant la méiose. • La fusion des gamètes aboutit à des zygotes diploïdes ayant deux allèles de chaque gène qui peuvent être le même allèle ou des allèles différents. • Les allèles dominants masquent les effets des allèles récessifs mais les allèles codominants ont des effets communs. • Chez les êtres humains, de nombreuses maladies génétiques sont causées par des allèles récessifs de gènes autosomiques, tandis que d'autres sont causées par des allèles dominants ou codominants. • Certaines maladies génétiques sont liées au sexe. Le pattern d'hérédité des gènes liés au sexe est différent en raison de leur localisation sur les chromosomes sexuels. • De nombreuses maladies génétiques ont été identifiées chez les êtres humains mais la majorité d'entre elles sont très rares. • Les radiations et les produits chimiques mutagènes augmentent le taux de mutation et peuvent causer des maladies génétiques et le cancer. 	Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> • Les théories de Mendel n'ont pas été acceptées par la communauté scientifique pendant longtemps. Quels facteurs inciteraient la communauté scientifique à accepter de nouvelles idées ? Utilisation <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 1.6 La division cellulaire</p> Objectifs globaux <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les implications sociales du diagnostic de mutations, y compris les effets sur la famille et la stigmatisation.

3.4 L'hérédité

Applications et compétences

- Application : l'hérédité des groupes sanguins ABO.
- Application : la cécité au rouge-vert et l'hémophilie en tant qu'exemples d'hérédité liée au sexe.
- Application : l'hérédité de la mucoviscidose et de la maladie de Huntington.
- Application : les conséquences des radiations qui ont suivi la bombe nucléaire d'Hiroshima et l'accident de Tchernobyl.
- Compétence : la construction de carrés de Punnett pour prédire les résultats des croisements génétiques monohybrides.
- Compétence : la comparaison des résultats prédits et réels des croisements génétiques en utilisant des données réelles.
- Compétence : l'analyse d'arbres généalogiques pour en déduire le pattern de transmission héréditaire de maladies génétiques.

Directives et informations supplémentaires

- Les allèles portés par les chromosomes X doivent être indiqués par des lettres présentées en indices supérieurs à côté d'un X majuscule, par exemple, X^h.
- La notation attendue pour les allèles des groupes sanguins ABO est :

<i>Phénotype</i>	O	<i>Génotype</i>	ii
	A		I ^A I ^A ou I ^A i
	B		I ^B I ^B ou I ^B i
	AB		I ^A I ^B

Idee essentielle : les biologistes ont développé des techniques de manipulation artificielle de l'ADN, des cellules et des organismes.

3.5 La modification génétique et la biotechnologie	
<p>Nature de la science</p> <p>Évaluation des risques associés à la recherche scientifique : les scientifiques tentent d'identifier les risques associés aux cultures ou au bétail génétiquement modifiés. (4.8)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation de l'ADN pour assurer des condamnations devant les tribunaux est bien établie ; pourtant, des théories acceptées universellement sont renversées à la lumière de nouvelles preuves scientifiques. Quels critères sont requis pour évaluer la fiabilité des preuves ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction.</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : dans l'idéal, la conception d'une expérience relative à l'enracinement doit conduire à une expérience qui est réellement réalisée par les élèves. • Objectif global 8 : une discussion pourrait porter sur l'éthique de la modification génétique.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'électrophorèse sur gel est utilisée pour séparer des protéines ou des fragments d'ADN en fonction de leur taille. • L'ACP peut servir à amplifier de petites quantités d'ADN. • Le profilage de l'ADN implique la comparaison de l'ADN. • La modification génétique est réalisée par transfert de gènes entre espèces. • Les clones sont des groupes d'organismes génétiquement identiques, dérivés d'une seule cellule parente d'origine. • De nombreuses espèces végétales et certaines espèces animales ont des méthodes de clonage naturelles. • Les animaux peuvent être clonés au stade embryonnaire en scindant l'embryon en plus d'un seul groupe de cellules. • Des méthodes de clonage d'animaux adultes utilisant des cellules différenciées ont été mises au point. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'utilisation du profilage de l'ADN pour la recherche de paternité et en médecine légale. • Application : le transfert de gènes à des bactéries en utilisant des plasmides fait appel aux endonucléases de restriction et à l'ADN-ligase. • Application : l'évaluation des risques et des bénéfices éventuels associés à la modification génétique des cultures. 	

3.5 La modification génétique et la biotechnologie

- Application : la production d'embryons clonés produits par transfert nucléaire de cellules somatiques.
 - Compétence : la conception d'une expérience pour évaluer un facteur affectant l'enracinement de boutures de tiges.
 - Compétence : l'analyse d'exemples de profils de l'ADN.
 - Compétence : l'analyse de données relatives aux risques que présentent les cultures Bt pour les papillons monarques.
- Directives et informations supplémentaires**
- Les élèves doivent pouvoir déduire si un homme pourrait ou non être le père d'un enfant d'après le pattern des bandes d'un profil de l'ADN.
 - Dolly peut être citée comme exemple de transfert de cellules somatiques.
 - Une espèce de plante qui forme facilement des racines dans l'eau ou dans un milieu solide doit être choisie pour les expériences relatives à l'enracinement.

Idée essentielle : la survie continue des organismes vivants, dont l'être humain, dépend des communautés durables.

4.1 Les espèces, les communautés et les écosystèmes	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : les plantes et les algues sont, pour la plupart, autotrophes. (3.1)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les espèces sont des groupes d'organismes qui peuvent éventuellement se reproduire entre eux pour produire des descendants féconds. • Les membres d'une espèce peuvent être isolés sur le plan reproductif en populations séparées. • Les espèces ont une méthode de nutrition autotrophe ou hétérotrophe (un petit nombre d'espèces ont les deux méthodes). • Les consommateurs sont des hétérotrophes qui se nourrissent d'organismes vivants par ingestion. • Les détritivores sont des hétérotrophes qui obtiennent des nutriments organiques de détritrus par digestion interne. • Les saprotrophes sont des hétérotrophes qui obtiennent des nutriments organiques d'organismes morts par digestion externe. • Une communauté est formée de populations de diverses espèces qui vivent ensemble et qui interagissent entre elles. • Une communauté forme un écosystème en interagissant avec l'environnement abiotique. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • On pourrait discuter de la nécessité de l'aspect durable des activités humaines et des méthodes requises pour l'encourager. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Géographie 2^e partie – A. Eau douce – Problèmes et conflits Systèmes de l'environnement et sociétés Thème 2.1 Les espèces et les populations</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : il vaudrait mieux que les élèves obtiennent eux-mêmes des données pour le test du chi-carré, afin de se familiariser avec les techniques de travail sur le terrain.

4.1 Les espèces, les communautés et les écosystèmes

- Les autotrophes obtiennent des nutriments inorganiques provenant de l'environnement abiotique.
- L'approvisionnement en nutriments inorganiques est maintenu par le cycle des substances nutritives.
- Les écosystèmes ont le potentiel de se maintenir pendant de longues périodes.

Applications et compétences

- Compétence : la classification des espèces en autotrophes, consommateurs, détritviores ou saprotrophes à partir de connaissances relatives à leur mode de nutrition.
- Compétence : mettre au point des mésocosmes scellés pour tenter d'établir la durabilité. (Exercice de travaux pratiques 5).
- Compétence : la recherche d'une association entre deux espèces en utilisant le test du chi-carré sur des données d'échantillonnage de quadrats.
- Compétence : trouver la signification statistique et l'interpréter.

Directives et informations supplémentaires

- Des mésocosmes peuvent être établis dans des réservoirs ouverts mais il vaut mieux choisir des récipients en verre scellés pour éviter l'entrée et la sortie de matière, tout en permettant à la lumière de pénétrer et à la chaleur de se dissiper. Les systèmes aquatiques sont susceptibles d'avoir plus de succès que les systèmes terrestres.
- Pour obtenir des données pour le test du chi-carré, il faudra choisir un écosystème dans lequel un ou plusieurs des facteurs qui affectent la distribution de l'espèce choisie varient. L'échantillonnage doit reposer sur des nombres aléatoires. Dans chaque quadrat, la présence ou l'absence de l'espèce choisie doit être enregistrée.

Idée essentielle : les écosystèmes nécessitent un apport permanent d'énergie pour alimenter les processus de la vie et remplacer l'énergie perdue sous forme de chaleur.

4.2 Le flux d'énergie	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels : le concept du flux d'énergie explique la longueur limitée des chaînes alimentaires. (2.2)</p> <p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La plupart des écosystèmes comptent sur la lumière solaire pour l'approvisionnement énergétique. • Dans les composés carbonés, l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique par photosynthèse. • L'énergie chimique des composés carbonés circule dans les chaînes alimentaires par nutrition. • L'énergie libérée des composés carbonés par la respiration est utilisée par les organismes vivants, puis convertie en chaleur. • Les organismes vivants ne peuvent pas convertir la chaleur en d'autres formes d'énergie. • Les écosystèmes perdent de la chaleur. • Les pertes d'énergie entre les niveaux trophiques limitent la longueur des chaînes alimentaires et la biomasse des niveaux trophiques supérieurs. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compétence : des représentations quantitatives du flux d'énergie en utilisant des pyramides d'énergie. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des pyramides de nombre et de biomasse ne sont pas requises. Les élèves doivent se rendre compte que la biomasse dans les écosystèmes diminue avec l'énergie le long des chaînes alimentaires en raison de la perte de dioxyde de carbone, d'eau et d'autres déchets comme l'urée. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'énergétique des chaînes alimentaires constitue un facteur dans l'efficacité de la production alimentaire pour l'allègement de la faim dans le monde. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie</p> <p>Thème 2.8 La respiration cellulaire</p> <p>Thème 2.9 La photosynthèse</p> <p>Physique</p> <p>Thème 2.3 Travail, énergie et puissance</p> <p>Thème B.2 Thermodynamique</p> <p>Systèmes de l'environnement et sociétés</p> <p>Thème 2.3 Les flux d'énergie et de matière</p>

4.2 Le flux d'énergie

- Les pyramides d'énergie doivent être dessinées à l'échelle et elles doivent être échelonnées et non triangulaires. Les termes producteur, premier consommateur, deuxième consommateur et ainsi de suite doivent être utilisés à la place de premier niveau trophique, deuxième niveau trophique et ainsi de suite.
- Il convient d'insister sur la distinction entre le flux d'énergie dans les écosystèmes et le cycle des nutriments inorganiques. Les élèves doivent comprendre qu'il y a un approvisionnement en énergie continu mais variable sous forme d'énergie solaire mais que, dans un écosystème, l'approvisionnement en nutriments est fini et limité.

Idée essentielle : la disponibilité permanente de carbone dans les écosystèmes dépend du cycle du carbone.

4.3 Le cycle du carbone	
<p>Nature de la science</p> <p>L'obtention de mesures quantitative précises : il est important d'obtenir des données fiables sur la concentration du dioxyde de carbone et du méthane dans l'atmosphère. (3.1)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Physique Thème 8.1 Sources d'énergie Chimie Thème C.2 Les combustibles fossiles Thème C.5 L'impact environnemental : le réchauffement de la planète</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : on pourrait considérer les implications éthiques du détournement de certaines cultures auparavant destinées à l'alimentation vers la production de combustible, comme c'est le cas du maïs.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les autotrophes convertissent le dioxyde de carbone en glucides et en autres composés carbonés. • Dans les écosystèmes aquatiques, le carbone est présent sous la forme de dioxyde de carbone dissous et d'ions de carbonate d'hydrogène. • Le dioxyde de carbone diffuse de l'atmosphère ou de l'eau aux autotrophes. • Le dioxyde de carbone est produit par la respiration et il diffuse des organismes à l'eau ou à l'atmosphère. • Le méthane est produit à partir de matière organique dans des conditions anaérobies par des archéens méthanogènes et une certaine quantité se diffuse dans l'atmosphère ou s'accumule dans le sol. • Le méthane est oxydé en dioxyde de carbone et en eau dans l'atmosphère. • Il y a formation de tourbe quand la matière organique n'est pas totalement décomposée en raison de conditions acides et/ou anaérobies dans des sols engorgés d'eau. • La matière organique partiellement décomposée datant d'ères géologiques antérieures a été convertie soit en houille, soit en pétrole et en gaz qui s'accumulent dans les roches poreuses. • Du dioxyde de carbone est produit par la combustion de la biomasse et de la matière organique fossilisée. • Les animaux tels que le corail hermatypique et les mollusques possèdent des parties dures composées de carbonate de calcium qui peuvent se fossiliser dans les roches calcaires. 	

4.3 Le cycle du carbone

Applications et compétences

- Application : l'estimation des flux de carbone en raison des processus du cycle du carbone.
- Application : l'analyse des données obtenues par les stations de contrôle de l'air pour expliquer les fluctuations annuelles.
- Compétence : construire un diagramme représentant le cycle du carbone.

Directives et informations supplémentaires

- Les flux de carbone doivent être mesurés en gigatonnes.

Idée essentielle : les concentrations des gaz dans l'atmosphère affectent les climats perçus à la surface de la Terre.

4.4 Le changement climatique	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation d'assertions : l'évaluation des assertions prétendant que les changements climatiques sont causés par les activités humaines. (5.2)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les gaz à effet de serre sont libérés localement mais leur impact est ressenti à l'échelle globale et il est donc crucial de coopérer internationalement pour réduire les émissions. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Le principe de précaution a pour but de guider la prise de décisions dans des conditions où l'on manque de certitude. La certitude est-elle une chose possible en sciences naturelles ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Physique</p> <p>Thème 8.2 Transfert d'énergie thermique</p> <p>Géographie : 1^{re} partie – 3. Distributions spatiales en matière de qualité et de durabilité de l'environnement</p> <p>Systèmes de l'environnement et sociétés</p> <p>Thème 7.2 Les causes et les conséquences du changement climatique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : des bases de données peuvent être utilisées pour analyser les concentrations des gaz à effet de serre. Objectif global 8 : il existe des aspects parallèles intéressants entre les êtres humains qui ne sont pas disposés à réduire leur empreinte de carbone et la tricherie chez les animaux sociaux. Quand le niveau de tricherie dépasse un certain seuil, le comportement social se désintègre.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau sont les gaz à effet de serre les plus importants. D'autres gaz, notamment le méthane et les oxydes d'azote, ont un impact moins important. L'impact d'un gaz dépend de son aptitude à absorber les radiations à longueurs d'onde longues ainsi que de sa concentration dans l'atmosphère. La Terre réchauffée émet des radiations à longueurs d'onde longues (chaleur). Les radiations à longueurs d'onde plus longues sont absorbées par les gaz à effet de serre qui retiennent la chaleur dans l'atmosphère. Les températures du globe et les régimes climatiques sont influencés par les concentrations des gaz à effet de serre. Il existe une corrélation entre les concentrations croissantes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère depuis le début de la révolution industrielle il y a 200 ans et les températures moyennes du globe. Les augmentations récentes de dioxyde de carbone atmosphérique sont en grande partie dues à la combustion de matière organique fossilisée. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les menaces qu'impliquent les concentrations croissantes de dioxyde de carbone dissous pour les récifs coralliens. Application : les corrélations entre les températures du globe et les concentrations de dioxyde de carbone sur la Terre. Application : l'évaluation des assertions selon lesquelles les activités humaines ne sont pas responsables du changement climatique. 	

4.4 Le changement climatique

Directives et informations supplémentaires

- Le dioxyde de carbone, le méthane et la vapeur d'eau doivent être inclus dans les discussions.
- Il n'est pas nécessaire d'inclure les conséquences nocives de la diminution de la couche d'ozone dans la discussion et il faut insister sur le fait que la diminution de la couche d'ozone n'est pas responsable de l'effet de serre accru.

Idée essentielle : nous possédons des preuves écrasantes de l'évolution de la vie sur la Terre.

5.1 Les preuves de l'évolution	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : la structure osseuse des membres des vertébrés présente des caractéristiques communes, bien que ces membres soient utilisés à des fins diverses. (3.1)</p>	<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : la structure osseuse des membres des vertébrés présente des caractéristiques communes, bien que ces membres soient utilisés à des fins diverses. (3.1)</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'évolution se produit quand les caractéristiques héréditaires d'une espèce changent. • Les archives géologiques fournissent des preuves de l'évolution. • L'élevage sélectif d'animaux domestiques montre que la sélection artificielle peut causer l'évolution. • L'évolution de structures homologues par radiation adaptative explique les similarités structurelles quand il existe des différences fonctionnelles. • Les populations d'une espèce peuvent progressivement diverger par évolution en espèces séparées. • La variation continue dans la gamme géographique de populations associées correspond au concept de la divergence progressive. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : le développement d'insectes mélanistes dans des zones polluées. • Application : la comparaison du membre pentadactyle des mammifères, des oiseaux, des amphibiens et des reptiles ayant diverses méthodes de locomotion. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'histoire de l'évolution est un domaine particulièrement difficile de la science car il est impossible de réaliser des expériences pour établir les événements antérieurs ou leurs causes. Toutefois, il existe des méthodes scientifiques qui permettent d'établir au-delà du doute raisonnable ce qui s'est passé dans certains cas. En quoi ces méthodes se comparent-elles à celles utilisées par les historiens pour reconstruire le passé ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Physique Thème 7.1 Énergie discrète et radioactivité Géographie 1^{re} partie – 3. Distributions spatiales en matière de qualité et de durabilité de l'environnement Systèmes de l'environnement et sociétés Thème 4 – La biodiversité dans les écosystèmes</p>

Idée essentielle : la diversité de la vie a évolué et continue à évoluer par sélection naturelle.

5.2 La sélection naturelle	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de théories pour expliquer les phénomènes naturels : la théorie de l'évolution par sélection naturelle peut expliquer le développement de la résistance des bactéries aux antibiotiques. (2.1)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La sélection naturelle est une théorie. Combien de preuves doit-on posséder pour appuyer une théorie et quelle sorte de preuves négatives est requise pour la réfuter ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La sélection naturelle peut se produire uniquement s'il y a variation parmi les membres de la même espèce. Les mutations, la méiose et la reproduction sexuée causent des variations entre les individus d'une espèce. Les adaptations sont des caractéristiques grâce auxquelles un individu convient à son environnement et à son mode de vie. Les espèces ont tendance à produire plus de descendants que l'environnement ne peut supporter. Les individus qui sont les mieux adaptés ont tendance à survivre et à produire plus de descendants, alors que ceux qui le sont moins ont tendance à mourir ou à produire moins de descendants. Les individus qui se reproduisent transmettent certaines de leurs caractéristiques à leurs descendants. La sélection naturelle augmente la fréquence des caractéristiques qui permettent aux individus d'être mieux adaptés et diminue la fréquence des autres caractéristiques, ce qui amène des changements au sein de l'espèce. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les changements de becs des pinsons de l'île Daphne Mayor. Application : l'évolution de la résistance des bactéries aux antibiotiques. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les élèves doivent comprendre clairement que les caractéristiques acquises durant la durée de vie d'un individu ne sont pas héréditaires. Il n'est pas nécessaire de mentionner le terme « lamarckisme ». 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La sélection naturelle est une théorie. Combien de preuves doit-on posséder pour appuyer une théorie et quelle sorte de preuves négatives est requise pour la réfuter ?

Idée essentielle : les espèces sont nommées et classées en utilisant un système accepté à l'échelle internationale.

5.3 La classification de la biodiversité	
<p>Nature de la science</p> <p>La coopération et la collaboration entre groupes de scientifiques utilisent le système binomial pour identifier une espèce à la place des nombreux noms locaux différents. (4.3)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Il existe des codes de nomenclature et des accords internationaux ayant trait aux principes à suivre pour la classification des organismes vivants. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> C'est au botaniste et médecin suédois Carolus Linnaeus (1707–1778) que l'on doit en grande partie l'adoption d'un système binomial de nomenclature. Linnaeus (Linné) a également défini quatre groupes d'êtres humains, et les divisions reposaient sur les caractères physiques et sociaux. Selon les normes du XXI^e siècle, on pourrait penser que ses descriptions sont racistes. Comment le contexte social du travail scientifique affecte-t-il les méthodes et les découvertes de la recherche ? Est-il nécessaire de considérer le contexte social quand on évalue les aspects éthiques des assertions ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le système binomial des noms pour les espèces est universel parmi les biologistes et il a été développé et accepté au cours d'une série de congrès. Lorsque des espèces sont découvertes, on leur donne des noms scientifiques en utilisant le système binomial. Les taxonomistes classifient les espèces en utilisant une hiérarchie de taxons. Tous les organismes sont classés en trois domaines. Les principaux taxons pour classifier les eucaryotes sont : le règne, l'embranchement, la classe, l'ordre, la famille, le genre et l'espèce. Dans une classification naturelle, le genre et les taxons plus élevés accompagnateurs se composent de toutes les espèces qui ont évolué à partir d'une espèce ancestrale commune. Parfois, les taxonomistes reclassent les groupes d'espèces quand de nouvelles preuves montrent qu'un taxon antérieur contient une espèce qui a évolué à partir d'une espèce ancestrale différente. Les classifications naturelles aident à identifier les espèces et permettent de prédire les caractéristiques partagées par une espèce au sein d'un groupe. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la classification d'une espèce végétale et d'une espèce animale à tous les niveaux, du domaine à l'espèce. Application : les caractéristiques de reconnaissance des bryophytes, filicinophytes, coniférophytes et angiospermophytes. 	

5.3 La classification de la biodiversité

- Application : les caractéristiques de reconnaissance des porifères, cnidaires, plathelminthes, annélides, mollusques, arthropodes et cordés.
- Application : les caractéristiques de reconnaissance des oiseaux, mammifères, amphibiens, reptiles et poissons.
- Compétence : la construction de clés dichotomiques à utiliser pour identifier des spécimens.

Directives et informations supplémentaires

- Les archéens, eubactéries et eucaryotes doivent être utilisés pour les trois domaines.
- Les membres de ces domaines doivent être appelés archéens, bactéries and eucaryotes.
- Les élèves doivent savoir quels sont les embranchements de plantes qui possèdent du tissu vasculaire, mais ils n'ont pas besoin de connaître d'autres détails internes.
- Les caractéristiques de reconnaissance attendues pour les embranchements des animaux sélectionnés sont celles qui sont les plus utiles pour distinguer les groupes les uns des autres et il n'est pas nécessaire de faire une description complète des caractéristiques de chaque embranchement.
- Les virus ne sont pas classifiés comme des organismes vivants.

Idee essentielle : l'ascendance de groupes d'espèces peut être déduite en comparant leurs séquences de bases ou d'acides aminés.

5.4 La cladistique	
<p>Nature de la science</p> <p>La falsification des théories, une théorie étant remplacée par une autre ; les familles de plantes ont été reclassifiées suite à l'obtention de preuves cladistiques. (1.9)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un clade est un groupe d'organismes qui ont évolué à partir d'un ancêtre commun. • Les preuves montrant qu'une espèce fait partie d'un clade peuvent être obtenues des séquences de bases d'un gène ou de la séquence d'acides aminés correspondante d'une protéine. • Les différences dans les séquences s'accumulent progressivement ; il existe par conséquent une corrélation positive entre deux espèces et le délai écoulé avant qu'elles ne divergent par rapport à un ancêtre commun. • Les caractéristiques peuvent être analogues ou homologues. • Les cladogrammes sont des diagrammes ramifiés qui montrent la séquence de divergence la plus probable dans les clades. • Les preuves cladistiques ont montré que les classifications de certains groupes reposant sur la structure ne correspondaient pas aux origines évolutives d'un groupe ou d'une espèce. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : des cladogrammes incluant les êtres humains et d'autres primates. • Application : la reclassification de la famille des scrofulariaceae en utilisant des preuves cladistiques. • Compétence : l'analyse de cladogrammes pour en déduire des relations évolutives. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans l'étude des bactéries, un important pas en avant a été réalisé en 1977, lorsque Carl Woese a reconnu que les archéens avaient une ligne séparée de descendance évolutive à partir de bactéries. Des scientifiques renommés, tels Luria et Mayr, se sont opposés à sa division des procaryotes. Dans quelle mesure le conservatisme est-il désirable en science ?

Thème 6 – La physiologie humaine

20 heures

Idée essentielle : la structure de la paroi de l'intestin grêle lui permet de déplacer, de digérer et d'absorber les aliments.

6.1 La digestion et l'absorption	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : une tubulure de dialyse peut être utilisée à titre de modèle de l'absorption dans l'intestin. (1.10)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La contraction des muscles circulaires et longitudinaux de l'intestin grêle mélange la nourriture aux enzymes et la fait avancer le long de l'intestin. • Le pancréas sécrète des enzymes dans la lumière de l'intestin grêle. • Les enzymes digèrent la plupart des macromolécules des aliments en monomères dans le petit intestin. • Les villosités augmentent la surface d'épithélium sur laquelle se produit l'absorption. • Les villosités absorbent les monomères formés par la digestion ainsi que les ions minéraux et les vitamines. • Diverses méthodes de transport transmembranaire sont requises pour absorber les divers nutriments. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les processus se déroulant dans l'intestin grêle qui aboutissent à la digestion de l'amidon et au transport des produits de la digestion jusqu'au foie. • Application : l'utilisation d'une tubulure de dialyse pour simuler l'absorption des aliments digérés dans l'intestin. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certaines enzymes hydrolytiques ont de l'importance dans le domaine économique ; par exemple, l'amylase est utilisée dans la production de sucres à partir d'amidon et dans le brassage de la bière. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 2.1 Des molécules au métabolisme Thème 2.5 Les enzymes</p>

<p>6.1 La digestion et l'absorption</p>	<ul style="list-style-type: none">• Compétence : l'élaboration d'un diagramme annoté du système digestif.• Compétence : l'identification des couches tissulaires dans des sections transversales de l'intestin grêle vues au microscope ou sur une photographie prise au microscope. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les élèves doivent savoir que l'amylase, la lipase et une endopeptidase sont sécrétées par le pancréas. Il n'est pas nécessaire qu'ils nomment la trypsine et la méthode utilisée pour l'activer.• Les élèves doivent savoir que l'amidon, le glycogène, les lipides et les acides nucléiques sont digérés pour former des monomères et que la cellulose reste non digérée.• Les couches tissulaires doivent inclure les muscles longitudinaux et circulaires, la muqueuse et l'épithélium.
--	--

Idée essentielle : le système sanguin apporte en permanence des substances aux cellules tout en recueillant les déchets.

6.2 Le système sanguin	
<p>Nature de la science</p> <p>Les théories sont considérées incertaines : William Harvey a renversé les théories sur la circulation du sang dans l'organisme qui avaient été développées par l'ancien philosophe grec Galen. (1.9)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> D'après nos connaissances actuelles, les émotions sont le produit de l'activité dans le cerveau et non dans le cœur. Les connaissances reposant sur la science sont-elles plus valides que celles reposant sur l'intuition ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La compréhension de la structure du système cardiovasculaire a permis de développer la chirurgie cardiaque. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.2 L'eau Thème 2.3 Les glucides et les lipides Thème 6.4 Les échanges gazeux Thème 6.6 Les hormones, l'homéostasie et la reproduction</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : il est suggéré de disséquer un cœur pour en étudier la structure. Objectif global 8 : les implications sociales des maladies cardiaques peuvent faire l'objet d'une discussion.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les artères apportent le sang à haute pression des ventricules aux tissus de l'organisme. Les artères possèdent dans leurs parois des cellules musculaires et des fibres élastiques. Les fibres musculaires et élastiques aident à maintenir la pression sanguine entre les cycles de pompage. Le sang circule dans les tissus en passant dans les capillaires. Ces derniers ont des parois perméables qui permettent l'échange de matières entre les cellules du tissu et le sang circulant dans le capillaire. Les veines recueillent le sang à faible pression dans les tissus de l'organisme et le ramènent aux oreillettes dans le cœur. Les valves dans les veines et le cœur assurent la circulation du sang en empêchant le reflux. La circulation des poumons se fait séparément. Le battement cardiaque est initié par un groupe de cellules musculaires spécialisées situées dans l'oreillette droite, que l'on appelle le nœud sino-auriculaire. Le nœud sino-auriculaire agit comme un centre rythmogène. Le nœud sino-auriculaire envoie un signal électrique qui stimule la contraction au fur et à mesure qu'il est propagé dans les parois des oreillettes puis dans celles des ventricules. 	

<p>6.2 Le système sanguin</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La fréquence cardiaque peut être augmentée ou diminuée par les influx nerveux apportés au cœur par deux nerfs partant du bulbe rachidien dans le cerveau. • L'épinéphrine augmente la fréquence cardiaque en vue de la préparation à des activités physiques vigoureuses. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la découverte par William Harvey de la circulation du sang avec le cœur qui agit comme une pompe. • Application : la pression change dans l'oreillette gauche, le ventricule gauche et l'aorte durant le cycle cardiaque. • Application : les causes et les conséquences de l'occlusion des artères coronaires. • Compétence : l'identification des vaisseaux sanguins en artères, capillaires ou veines d'après la structure de leurs parois. • Compétence : la reconnaissance des cavités et des valvules du cœur et des vaisseaux sanguins qui y sont reliés dans des cœurs disséqués ou sur des diagrammes de la structure cardiaque.
--------------------------------------	--

Idee essentielle : le corps humain possède des structures et des processus qui résistent à la menace permanente d'une invasion par des agents pathogènes.

6.3 La défense contre les maladies infectieuses	
<p>Nature de la science</p> <p>Les risques associés à la recherche scientifique : les tests ayant trait à l'innocuité de la pénicilline réalisés par Florey et Chain ne seraient pas conformes au protocole d'essais actuel. (4.8)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> La propagation et le confinement de maladies telles que la grippe aviaire nécessitent la coordination et la communication à l'échelle internationale. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La compréhension de l'immunité a conduit au développement des vaccinations. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 5.2 La sélection naturelle Chimie Thème D.2 L'aspirine et la pénicilline</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : il convient d'insister sur les bénéfices sociaux ainsi qu'économiques du contrôle des maladies bactériennes dans le monde entier. Objectif global 9 : la science dispose de moyens limités pour lutter contre les agents pathogènes, comme l'illustrent la propagation de nouvelles maladies et les bactéries résistantes aux antibiotiques.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La peau et les membranes muqueuses forment une défense primaire contre les agents pathogènes qui causent la maladie infectieuse. Les coupures dans la peau sont scellées par la coagulation du sang. Des facteurs de coagulation sont libérés des plaquettes sanguines. La cascade aboutit à la conversion rapide du fibrinogène en fibrine par la thrombine. L'ingestion d'agents pathogènes par des leucocytes phagocytaires confère une immunité non spécifique contre les maladies. La production d'anticorps par les lymphocytes en réponse à des agents pathogènes particuliers confère une immunité spécifique. Les antibiotiques bloquent des processus qui se produisent dans les cellules procaryotes mais non dans les cellules eucaryotes. Les maladies virales ne peuvent pas être traitées en utilisant des antibiotiques parce que les virus n'ont pas de métabolisme. Certaines souches de bactéries ont évolué avec des gènes qui leur confèrent une résistance aux antibiotiques et certaines souches de bactéries présentent une résistance multiple. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les causes et les conséquences de la formation de caillots sanguins dans les artères coronaires. Application : les expériences pour tester l'effet de la pénicilline sur les infections bactériennes chez la souris qui ont été réalisées par Florey et Chain. 	

6.3 La défense contre les maladies infectieuses

- Application : les effets du VIH sur le système immunitaire et les méthodes de transmission.

Directives et informations supplémentaires

- Des diagrammes de la peau ne sont pas requis.
- Les sous-groupes de phagocytes et de lymphocytes ne sont pas requis mais les élèves doivent savoir que certains lymphocytes agissent comme des cellules-mémoire et qu'ils peuvent rapidement se reproduire pour former un clone de plasmocytes si un agent pathogène porteur d'un antigène spécifique est à nouveau rencontré.
- Les effets du VIH sur le système immunitaire doivent se limiter à une réduction du nombre de lymphocytes actifs et à une perte de l'aptitude à produire des anticorps, ce qui mène au développement du SIDA.

Idée essentielle : les poumons sont activement ventilés pour garantir que les échanges gazeux puissent se faire passivement.

6.4 Les échanges gazeux	
Nature de la science	
L'obtention de preuves pour les théories : les études épidémiologiques nous ont aidés à comprendre les causes du cancer du poumon. (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La ventilation maintient les gradients d'oxygène et de dioxyde de carbone entre l'air contenu dans les alvéoles et le sang circulant dans les capillaires adjacents. • Les pneumocytes de type I sont des cellules alvéolaires extrêmement minces qui sont adaptées pour effectuer les échanges gazeux. • Les pneumocytes de type II sécrètent une solution contenant un surfactant qui crée une surface humide dans les alvéoles en vue d'empêcher que les côtés de l'alvéole adhèrent l'un à l'autre en réduisant la tension superficielle. • L'air est transporté jusqu'aux poumons dans la trachée et les bronches, puis jusqu'aux alvéoles dans les bronchioles. • Les contractions musculaires provoquent les changements de pression dans le thorax qui forcent l'air à entrer et à sortir des poumons pour les ventiler. • Des muscles différents sont requis pour l'inspiration et l'expiration car les muscles fonctionnent uniquement lorsqu'ils se contractent. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les causes et les conséquences du cancer du poumon. • Application : les causes et les conséquences de l'emphysème. • Application : les muscles intercostaux externes et internes, et le diaphragme et les muscles abdominaux à titre d'exemples d'action musculaire antagoniste. • Compétence : le contrôle de la ventilation chez les êtres humains au repos et après des exercices physiques légers et vigoureux. (Exercice de travaux pratiques 6) 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie</p> <p>Thème 1.4 Le transport transmembranaire</p> <p>Thème 1.6 La division cellulaire</p> <p>Thème 6.2 Le système sanguin</p> <p>Physique</p> <p>Thème 3.2 Modélisation d'un gaz</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les conséquences sociales du cancer du poumon et de l'emphysème peuvent faire l'objet d'une discussion.

6.4 Les échanges gazeux

Directives et informations supplémentaires

- La ventilation peut être contrôlée par simple observation et au moyen d'appareils simples ou en enregistrant des données avec un spiromètre ou une courroie thoracique et un manomètre. Le taux de ventilation et le volume courant doivent être mesurés mais les élèves n'ont pas à utiliser les termes « capacité vitale » et « volume résiduel ».
- Les élèves doivent pouvoir dessiner un diagramme pour montrer la structure d'une alvéole et celle d'un capillaire adjacent.

Idée essentielle : les neurones transmettent le message alors que les synapses le modulent.

6.5 Les neurones et les synapses	
<p>Nature de la science</p> <p>La coopération et la collaboration entre groupes de scientifiques : les biologistes contribuent à la recherche sur la mémoire et l'apprentissage. (4.3)</p>	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La compréhension du fonctionnement des neurotransmetteurs et des synapses a mené au développement de nombreux produits pharmaceutiques pour le traitement des troubles mentaux. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 1.4 Le transport transmembranaire Chimie Thème C.6 L'électrochimie, les piles rechargeables et les piles à combustible Psychologie Tronc commun – Le niveau d'analyse biologique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : les effets sociaux de l'abus de psychotropes, ainsi que de la neurotoxine Botox à des fins cosmétiques, peuvent être pris en compte.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les neurones transmettent des impulsions électriques. La myélinisation des fibres nerveuses permet la conduction saltatoire. Les neurones pompent les ions sodium et potassium au travers de leur membrane pour produire un potentiel de repos. Un potentiel d'action comprend la dépolarisation et la repolarisation du neurone. L'influx nerveux consiste en des potentiels d'action propagés le long des axones des neurones. La propagation de l'influx nerveux est le résultat de courants locaux grâce auxquels chaque partie successive de l'axone atteint le seuil d'excitation. Les synapses sont des jonctions entre les neurones, et entre les neurones et les cellules réceptrices ou les cellules effectrices. Quand les neurones présynaptiques sont dépolarisés, ils libèrent un neurotransmetteur dans la synapse. Un influx nerveux est également initié si le seuil d'excitation est atteint. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la sécrétion et la réabsorption de l'acétylcholine par les neurones aux synapses. Application : le blocage de la transmission synaptique aux synapses cholinergiques chez les insectes lorsque des pesticides néonicotinoïdes se lient aux récepteurs de l'acétylcholine. Compétence : l'analyse de tracés d'oscilloscope montrant les potentiels de repos et les potentiels d'action. 	

6.5 Les neurones et les synapses

Directives et informations supplémentaires

- Les détails de la structure des divers types de neurones ne sont pas requis.
- Seules les synapses chimiques sont requises, et non les synapses électriques ; elles peuvent tout simplement être appelées synapses.

Idée essentielle : les hormones sont utilisées quand des signaux doivent être largement distribués.

6.6 Les hormones, l'homéostasie et la reproduction

Nature de la science

Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils. William Harvey a été entravé dans sa recherche observationnelle sur la reproduction à cause du manque d'équipement : le microscope a été inventé 17 ans après sa mort. (1.8)

Notions clés

- Le glucagon et l'insuline sont sécrétés par les cellules α et β du pancréas pour contrôler la glycémie.
- La thyroxine est sécrétée par la glande thyroïde pour réguler le taux métabolique et aider à contrôler la température corporelle.
- La leptine est sécrétée par des cellules du tissu adipeux et elle agit sur l'hypothalamus pour inhiber l'appétit.
- La mélatonine est sécrétée par la glande pinéale pour contrôler les rythmes circadiens.
- Un gène porté par le chromosome Y provoque le développement des gonades embryonnaires en testicules et la sécrétion de testostérone.
- La testostérone cause le développement prénatal des organes génitaux mâles et à la fois la production de sperme et le développement de caractéristiques sexuelles secondaires durant la puberté.
- Les œstrogènes et la progestérone causent le développement prénatal des organes reproducteurs femelles et les caractéristiques sexuelles secondaires femelles durant la puberté.
- Le cycle menstruel est contrôlé par des mécanismes de rétrocontrôle négatifs et positifs impliquant les hormones ovariennes et hypophysaires.

Applications et compétences

- Application : les causes et le traitement du diabète de type I et de type II.
- Application : les tests sur la leptine chez les patients présentant une obésité clinique et les causes d'échec du contrôle de la maladie.

Utilisation

- Les hormones sont utilisées dans un large éventail de thérapies telles les hormonothérapies de substitution.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :
Biologie

Thème 3.2 Les chromosomes

Thème 3.3 La méiose

Thème 10.1 La méiose

Psychologie

Tronc commun – Le niveau d'analyse biologique

Objectifs globaux

- **Objectif global 8 :** les scientifiques savent que les médicaments pris par les femmes pour traiter la stérilité les exposent à des risques de santé éventuels. Les connaissances scientifiques devraient-elles avoir priorité sur les considérations de compassion lors du traitement de couples stériles ?

6.6 Les hormones, l'homéostasie et la reproduction

- Application : les causes du syndrome du décalage horaire et l'utilisation de la mélatonine pour le soulager.
- Application : l'utilisation de médicaments pour la FIV en vue de bloquer la sécrétion hormonale normale, suivie de l'utilisation de doses artificielles d'hormones pour induire une superovulation et établir une grossesse.
- Application : la recherche sur la reproduction sexuelle chez le cerf menée par William Harvey.
- Compétence : l'annotation de diagrammes des appareils reproducteurs mâle et femelle pour indiquer les noms des structures et leurs fonctions.

Directives et informations supplémentaires

- Les rôles de la FSH, de la LH, des oestrogènes et de la progestérone dans le cycle menstruel sont requis.
- William Harvey n'a pas pu résoudre le mystère de la reproduction sexuelle parce que des microscopes efficaces n'étaient pas disponibles à l'époque où il a mené sa recherche, et la fusion des gamètes et le développement ultérieur de l'embryon n'ont pu être découverts.

Thème 7 – Les acides nucléiques

9 heures

Idee essentielle : la structure de l'ADN convient parfaitement bien à sa fonction.

<p>7.1 La structure et la réplication de l'ADN</p>	
<p>Nature de la science</p> <p>La formulation d'observations attentives : la diffraction des rayons X de Rosalind Franklin a apporté des preuves cruciales que l'ADN est une double hélice. (1.8)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les nucléosomes aident à superenrouler l'ADN. • La structure de l'ADN a suggéré un mécanisme de réplication de l'ADN. • Les ADN-polymérases peuvent ajouter des nucléotides uniquement à l'extrémité 3' d'une amorce. • La réplication de l'ADN est continue sur le brin directeur alors qu'elle ne l'est pas sur le brin discontinu. • La réplication de l'ADN est réalisée par un système complexe d'enzymes. • Certaines régions de l'ADN ne codent pas pour des protéines mais elles ont d'autres fonctions importantes. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la recherche sur la structure de l'ADN par diffraction des rayons X réalisée par Rosalind Franklin et Maurice Wilkins. • Application : l'utilisation des nucléotides contenant de l'acide didéoxyribonucléique pour interrompre la réplication de l'ADN en vue de la préparation d'échantillons pour séquençage de bases. • Application : les séquences répétées en tandem sont utilisées dans le profilage de l'ADN. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les séquences très répétitives ont été, à une époque, classifiées comme étant de « l'ADN poubelle », ce qui exprimait, avec un certain degré de certitude, qu'il ne jouait aucun rôle. Dans quelle mesure les étiquettes et les catégories utilisées dans la poursuite de la connaissance affectent-elles les connaissances que nous obtenons ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.6 La structure de l'ADN et de l'ARN</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : les élèves pourraient concevoir des maquettes pour illustrer les divers stades de la réplication de l'ADN.

7.1 La structure et la réplication de l'ADN

- Compétence : l'analyse des résultats de l'expérience réalisée par Hershey et Chase ayant apporté des preuves que l'ADN constitue le matériel génétique.
- Compétence : l'utilisation d'un logiciel de visualisation moléculaire pour analyser l'association entre les protéines et l'ADN au sein d'un nucléosome.

Directives et informations supplémentaires

- Les détails de la réplication de l'ADN diffèrent entre les procaryotes et les eucaryotes. Seul le système procaryote est requis.
- Les protéines et les enzymes impliqués dans la réplication de l'ADN doivent inclure l'hélicase, l'ADN-gyrase, les protéines fixatrices d'ADN monocaténaire, l'ADN-primase et les ADN-polymérase I et III.
- Les régions de l'ADN qui ne codent pas pour les protéines doivent se limiter aux régulateurs de l'expression génique, aux introns, aux télomères et aux gènes pour les ARNt.

Idée essentielle : l'information codée dans l'ADN est copiée en ARNm.

7.2 La transcription et l'expression génique	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : il y a de plus en plus de preuves que l'environnement peut déclencher des changements héréditaires dans des facteurs épigénétiques. (3.1)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La question de « l'inné et de l'acquis » concernant l'importance relative des qualités innées d'un individu, par comparaison à celles acquises par expérience, fait encore l'objet de nombreux débats. Est-ce important pour la science de tenter de répondre à cette question ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La transcription se produit dans le sens 5' vers 3'. Les nucléosomes aident à réguler la transcription chez les eucaryotes. Les cellules eucaryotes modifient l'ARNm après la transcription. L'épissage de l'ARNm augmente le nombre de protéines différentes qu'un organisme peut produire. L'expression génique est régulée par les protéines qui se lient à des séquences de bases spécifiques dans l'ADN. L'environnement d'une cellule et d'un organisme a un impact sur l'expression génique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : le promoteur en tant qu'exemple de l'ADN non codant ayant une fonction. Compétence : l'analyse des changements se produisant dans les profils de méthylation de l'ADN. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> L'ARN-polymérase ajoute l'extrémité 5' du nucléotide libre d'ARN à l'extrémité 3' de la molécule d'ARNm qui s'allonge. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La question de « l'inné et de l'acquis » concernant l'importance relative des qualités innées d'un individu, par comparaison à celles acquises par expérience, fait encore l'objet de nombreux débats. Est-ce important pour la science de tenter de répondre à cette question ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction</p>

Idée essentielle : l'information transférée de l'ADN à l'ARNm est traduite en une séquence d'acides aminés.

7.3 La traduction	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations informatiques. L'utilisation d'ordinateurs a permis aux scientifiques de faire des progrès en matière d'applications bioinformatiques, par exemple, en leur permettant de localiser les gènes au sein des génomes et d'identifier des séquences conservées. (3.7)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'initiation de la traduction implique l'assemblage des composantes qui effectuent le processus. • La synthèse du polypeptide implique un cycle répétitif d'événements. • Le désassemblage des composantes succède à la terminaison de la traduction. • Les ribosomes libres synthétisent les protéines à utiliser principalement au sein de la cellule. • Les ribosomes liés synthétisent les protéines principalement pour la sécrétion ou l'utilisation dans les lysosomes. • La traduction peut se produire immédiatement après la transcription chez les procaryotes en raison de l'absence d'une membrane nucléaire. • La séquence et le nombre d'acides aminés dans le polypeptide est la structure primaire. • La structure secondaire est la formation d'hélices alpha et de feuillets plissés bêta stabilisés par des liaisons hydrogène. • La structure tertiaire est le pliage plus poussé du polypeptide, stabilisé par les interactions entre les groupes R. • La structure quaternaire existe dans les protéines avec plus d'une chaîne polypeptidique. 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction Option B. La biotechnologie et la bioinformatique</p>

7.3 La traduction

Application et compétences

- Application : les enzymes d'activation de l'ARNt illustrent la spécificité enzyme-substrat et le rôle de la phosphorylation.
- Compétence : l'identification de polysomes dans des photos de procaryotes et d'eucaryotes prises au microscope électronique.
- Compétence : l'utilisation d'un logiciel de visualisation moléculaire pour analyser la structure des ribosomes eucaryotes et une molécule d'ARNt.

Directives et informations supplémentaires

- Les noms des sites de liaison de l'ARNt ainsi que leurs rôles sont requis.
- Des exemples de codons de départ et de codons d'arrêt ne sont pas requis.
- Les acides aminés polaires et non polaires sont pertinents aux liaisons formées entre les groupes R.
- La structure quaternaire peut impliquer la liaison d'un groupe prosthétique pour former une protéine conjuguée.

Thème 8 – Le métabolisme, la respiration cellulaire et la photosynthèse 14 heures

Idée essentielle : les réactions métaboliques sont régulées en fonction des besoins de la cellule.

8.1 Le métabolisme	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations informatiques. Les développements en bioinformatique, tels l'interrogation de bases de données, ont facilité la recherche sur les voies métaboliques. (3.8)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> De nombreuses voies métaboliques ont été décrites suite à une série d'expériences bien contrôlées et répétées. Dans quelle mesure l'étude des parties composantes peut-elle nous apporter des connaissances sur l'ensemble ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> De nombreux inhibiteurs enzymatiques ont été utilisés en médecine. Par exemple, l'éthanol a été utilisé en tant qu'inhibiteur compétitif pour l'intoxication par l'antigel. Le fomépizole, un inhibiteur de l'alcool-déshydrogénase, a également été utilisé pour l'intoxication par l'antigel. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 2.7 La réplication de l'ADN, la transcription et la traduction Chimie Thème 6.1 La théorie des collisions et les vitesses de réaction</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : des expériences sur l'inhibition enzymatique peuvent être réalisées. Objectif global 7 : des simulations informatiques de l'action enzymatique, incluant l'inhibition métabolique, sont disponibles.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les voies métaboliques se composent de chaînes et de cycles de réactions catalysées par des enzymes. Les enzymes réduisent l'énergie d'activation des réactions chimiques qu'elles catalysent. Les inhibiteurs enzymatiques peuvent être compétitifs ou non compétitifs. Les voies métaboliques peuvent être contrôlées par rétro-inhibition par les produits finals. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la rétro-inhibition de la voie qui convertit la thréonine en isoleucine. Application : l'utilisation de bases de données pour identifier de nouveaux antipaludéens éventuels. Compétence : le calcul et le traçage de taux de réaction à partir de résultats expérimentaux bruts. Compétence : la distinction entre les divers types d'inhibition à partir de graphiques pour une concentration de substrat spécifiée. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> L'inhibition enzymatique doit être étudiée en utilisant un exemple spécifique d'inhibition compétitive et un exemple d'inhibition non compétitive. 	

Idee essentielle : l'énergie est convertie en une forme utilisable dans la respiration cellulaire.

8.2 La respiration cellulaire	
Nature de la science	
Le changement de paradigme : la théorie chimio-osmotique a conduit à un changement de paradigme dans le domaine de la bioénergétique. (2.3)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> • La respiration cellulaire implique l'oxydation et la réduction des transporteurs d'électrons. • La phosphorylation des molécules les rend moins stables. • Dans la glycolyse, le glucose est converti en pyruvate dans le cytoplasme. • La glycolyse apporte un petit gain net d'ATP sans utiliser de l'oxygène. • Dans la respiration cellulaire aérobique, le pyruvate est décarboxylé et oxydé, puis converti en composé acétyle et fixé à la coenzyme A pour former l'acétyl-coenzyme A dans la réaction de transition. • Dans le cycle de Krebs, l'oxydation des groupes acétyle est couplée à la réduction des transporteurs d'hydrogène, en libérant du dioxyde de carbone. • L'énergie libérée par les réactions d'oxydation est transportée jusqu'aux crêtes mitochondriales par la NAD et la FAD réduites. • Le transfert d'électrons entre les transporteurs de la chaîne de transport d'électrons, dans la membrane des crêtes, est couplé au pompage de protons. • L'oxygène est l'accepteur final des électrons. • Dans la chimiosmose, les protons diffusent par l'ATP-synthase pour produire de l'ATP. • Il faut que de l'oxygène se lie aux protons libres, ce qui forme de l'eau, pour que le gradient d'hydrogène soit maintenu. • La structure de la mitochondrie est adaptée à la fonction qu'elle exerce. 	Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> • La théorie chimiosmotique de Peter Mitchell s'est heurtée à de nombreuses années d'opposition avant d'être finalement acceptée. Quelles sont les raisons pour lesquelles la falsification ne se traduit pas toujours par une acceptation immédiate de nouvelles théories ou par un changement de paradigme ? Utilisation <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 2.8 La respiration cellulaire Chimie Thème 9.1 L'oxydation et la réduction</p>

<p>8.2 La respiration cellulaire</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none">• Application : la tomographie électronique utilisée pour produire des images des mitochondries actives.• Compétence : l'analyse des diagrammes des voies de la respiration aérobie pour en déduire où se produisent les réactions de décarboxylation et d'oxydation.• Compétence : l'annotation d'un diagramme d'une mitochondrie pour indiquer les adaptations à sa fonction. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les noms des composés intermédiaires de la glycolyse et du cycle de Krebs ne sont pas requis.
---	--

Idée essentielle : l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique.

8.3 La photosynthèse	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils. Des sources de ^{14}C et l'autoradiographie ont permis à Calvin d'élucider les voies de la fixation du carbone. (1.8)</p>	<p>Des sources de ^{14}C et l'autoradiographie ont permis à Calvin d'élucider les voies de la fixation du carbone. (1.8)</p>
<p>Notions clé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les réactions photo-dépendantes se déroulent dans les thylakoïdes et dans l'espace intrathylakoïdien. • Les réactions photo-indépendantes se déroulent dans le stroma. • Du NADP et de l'ATP réduits sont produits dans les réactions photo-dépendantes. • L'absorption de la lumière par les photosystèmes produit des électrons excités. • La photolyse de l'eau produit des électrons à utiliser dans les réactions photo-dépendantes. • Un transfert d'électrons excités se produit entre les transporteurs dans les membranes thylakoïdes. • Les électrons excités du Photosystème II sont utilisés pour aider à produire un gradient de protons. • L'ATP-synthase dans les thylakoïdes produit de l'ATP en utilisant le gradient de protons. • Les électrons excités dans le Photosystème I sont utilisés pour réduire le NADP. • Dans les réactions photo-indépendantes, une carboxylase catalyse la carboxylation du ribulose bisphosphate. • Le glycérate 3-phosphate est réduit en triose phosphate en utilisant le NADP et l'ATP réduits. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'expérience utilisée pour déterminer les détails biochimiques du cycle de Calvin fait preuve d'une créativité considérable. Dans quelle mesure la création d'un protocole élégant est-elle analogue à celle d'une œuvre d'art ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le projet <i>Global Artificial Photosynthesis</i> (GAP), ou projet de photosynthèse artificielle globale, vise à créer une « feuille artificielle » d'ici une dizaine d'années. Une version électronique de la feuille qui crée de l'oxygène et de l'hydrogène à partir de l'eau et de la lumière solaire a déjà été inventée et elle sera mise au point pour être utilisée durant la prochaine décennie. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 2.9 La photosynthèse Thème 4.2 Le flux d'énergie Thème 4.3 Le cycle du carbone Chimie Thème 9.1 L'oxydation et la réduction</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : la méthode de Hill démontrant le transfert d'électrons dans les chloroplastes en observant la réduction de DCPIP, l'immobilisation d'une culture d'algue comme <i>Scenedesmus</i> dans des billes d'alginat et la mesure du taux de photosynthèse en vérifiant leur effet sur l'indicateur du carbonate d'hydrogène sont toutes des expériences possibles.

8.3 La photosynthèse

- Le triose phosphate est utilisé pour régénérer le RuBP et produire des glucides.
- Le ribulose biphosphate est reformé en utilisant de l'ATP.
- La structure du chloroplaste est adaptée à sa fonction dans la photosynthèse.

Applications et compétences

- Application : l'expérience réalisée par Calvin pour élucider la carboxylation du RuBP.
- Compétence : l'annotation d'un diagramme pour indiquer les adaptations d'un chloroplaste à sa fonction.

Thème 9 – La biologie végétale

13 heures

Idee essentielle : la structure et la fonction sont corrélées dans le xylème des plantes.

9.1 Le transport dans le xylème des plantes	
Nature de la science	
L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : les mécanismes impliqués dans le transport de l'eau dans le xylème peuvent être examinés en utilisant un appareil et des substances dont la structure présente des similarités avec celle des tissus végétaux. (1.10)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La transpiration est la conséquence inévitable des échanges gazeux dans la feuille. • Les plantes transportent l'eau des racines jusqu'aux feuilles pour remplacer les pertes par transpiration. • La propriété cohésive de l'eau et la structure des vaisseaux du xylème permettent le transport dans des conditions de tension. • La propriété adhésive de l'eau et l'évaporation produisent des forces de tension dans les parois des cellules foliaires. • L'absorption active des ions minéraux dans les racines cause l'absorption de l'eau par osmose. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les adaptations des plantes dans les déserts et dans les sols salins pour conserver l'eau. • Application : des modèles de transport de l'eau dans le xylème en utilisant un appareil simple, notamment du papier buvard ou du papier filtre, des pots poreux et de la tubulure capillaire. 	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.2 L'eau Thèmes 2.9 et 8.3 La photosynthèse</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : l'avènement de logiciels de traitement d'images et de microscopes numériques augmente encore plus l'aptitude à recueillir des données pour assurer la fiabilité. • Objectif global 6 : la mesure d'ouverture de stomates et la répartition de ces derniers en utilisant des moulages de feuilles, ainsi que des mesures répétées pour améliorer la fiabilité, sont des expériences possibles.

9.1 Le transport dans le xylème des plantes

- Compétence : la schématisation de la structure des vaisseaux principaux du xylème dans des sections de tige, en s'aidant d'images obtenues au microscope.
- Compétence : la mesure du taux de transpiration en utilisant des potomètres. (Exercices de travaux pratiques 7).
- Compétence : concevoir une expérience pour tester des hypothèses concernant l'effet de la température ou de l'humidité sur le taux de transpiration.

Idée essentielle : la structure et la fonction sont corrélées dans le phloème des plantes.

9.2 Le transport dans le phloème des plantes	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils. Les méthodes expérimentales pour mesurer le taux de transport dans le phloème en utilisant des stylets de pucerons et du dioxyde de carbone radiomarqué n'ont été possibles qu'après que les radioisotopes sont devenus disponibles. (1.8)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 1.4 Le transport transmembranaire</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les plantes transportent les composés organiques des sources aux cibles. • L'incompressibilité de l'eau permet le transport le long de gradients de pression hydrostatique. • Le transport actif est utilisé pour charger les composés organiques dans les tubes criblés du phloème à la source. • De fortes concentrations de solutés dans le phloème à la source conduit à l'absorption d'eau par osmose. • Une pression hydrostatique accrue provoque la circulation du contenu du phloème vers les cibles. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les rapports entre la structure et la fonction des tubes criblés du phloème. • Compétence : l'identification du xylème et du phloème sur des images de la tige et de la racine obtenues au microscope. • Compétence : l'analyse de données obtenues d'expériences mesurant des taux de transport dans le phloème en utilisant des stylets de pucerons et du dioxyde de carbone radiomarqué. 	

Idée essentielle : les plantes adaptent leur croissance aux conditions environnementales.

9.3 La croissance des plantes	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations en matière d'analyse et de déduction. Les améliorations des techniques analytiques permettant la détection de traces de substances ont permis de mieux comprendre les hormones végétales et leur effet sur l'expression génique. (1.8)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les plantes communiquent chimiquement tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Dans quelle mesure pouvons-nous dire que les plantes ont un langage ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La micropropagation est utilisée pour le foisonnement de nouvelles variétés de plantes. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : des recherches sur les tropismes pourraient être réalisées.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les cellules indifférenciées dans les méristèmes des plantes permettent une croissance indéterminée. La mitose et la division cellulaire dans l'apex d'une pousse fournissent les cellules requises pour l'élongation de la tige et le développement des feuilles. Des hormones végétales contrôlent la croissance dans l'apex des pousses. Les pousses végétales réagissent à l'environnement par tropismes. Les pompes d'efflux d'auxine peuvent déterminer des gradients de concentration d'auxine dans les tissus végétaux. L'auxine influence les taux de croissance cellulaire en modifiant le profil de l'expression génique. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la micropropagation des plantes en utilisant du tissu de l'apex des pousses, des géloses nutritives et des hormones de croissance. Application : l'utilisation de la micropropagation pour le foisonnement rapide de nouvelles variétés, la production de souches sans virus de variétés existantes et la propagation d'orchidées et d'autres espèces rares. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> L'auxine est la seule hormone nommée requise. 	

Idée essentielle : la reproduction des plantes à fleurs est influencée par les environnements biotique et abiotique.

9.4 La reproduction des plantes	
<p>Nature de la science</p> <p>Le changement de paradigme : plus de 85 % des 250 000 espèces de plantes à fleurs du monde dépendent des pollinisateurs pour la reproduction. La connaissance de ce fait a conduit à la protection d'écosystèmes entiers plutôt que d'espèces individuelles. (2.3)</p>	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> L'université de Göttingen, en Allemagne, a réalisé en 2005 une revue détaillée des études scientifiques effectuées dans 200 pays pour 115 des principales cultures mondiales. Ils ont découvert que 87 plantes cultivées dépendent, dans une mesure plus ou moins grande, de la pollinisation par des animaux, y compris les abeilles. Cela représente un tiers de la production des cultures dans le monde entier.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La floraison implique une modification de l'expression génique dans l'apex des pousses. Chez de nombreuses plantes, le passage à la floraison est une réponse à la durée des périodes d'éclairement et d'obscurité. Le succès de la reproduction des plantes dépend de la pollinisation, de la fécondation et de la dispersion des graines. La majorité des plantes à fleurs utilise des relations mutualistes avec les pollinisateurs pour la reproduction sexuée. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les méthodes utilisées pour induire la floraison hors saison des plantes de jours courts. Compétence : la schématisation de la structure interne des graines. Compétence : la schématisation de demi-vues de fleurs pollinisées par des animaux. Compétence : la conception d'expériences pour tester des hypothèses concernant les facteurs qui affectent la germination. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> Les élèves doivent comprendre les différences entre la pollinisation, la fécondation et la dispersion des graines mais ils n'ont pas besoin de connaître les détails de chaque processus. La floraison chez les plantes dites de jours courts, telles que les chrysanthèmes, est stimulée par des nuits longues plutôt que par des jours courts. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> L'université de Göttingen, en Allemagne, a réalisé en 2005 une revue détaillée des études scientifiques effectuées dans 200 pays pour 115 des principales cultures mondiales. Ils ont découvert que 87 plantes cultivées dépendent, dans une mesure plus ou moins grande, de la pollinisation par des animaux, y compris les abeilles. Cela représente un tiers de la production des cultures dans le monde entier.

Thème 10 – La génétique et l'évolution

8 heures

Idee essentielle : la méiose conduit à un assortiment indépendant de chromosomes et à une composition unique d'allèles dans les cellules filles.

10.1 La méiose	
<p>Nature de la science</p> <p>La formulation d'observations attentives : l'observation soignée et la tenue de dossiers ont fait apparaître des données anormales que la loi sur la ségrégation indépendante de Mendel n'avait pas pu expliquer. Thomas Hunt Morgan a développé la notion de gènes liés pour expliquer les anomalies. (1.8)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 1.6 La division cellulaire Thème 3.3 La méiose Thème 11.4 La reproduction sexuée</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : la coloration d'anthers de lis ou d'autres tissus contenant des cellules germinales et l'examen au microscope pour observer les cellules durant la méiose sont des activités possibles.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La réplication des chromosomes se produit durant l'interphase, avant la méiose. • L'enjambement (<i>crossing-over</i>) est l'échange de matériel génétique entre des chromatides homologues non sœurs. • L'enjambement produit de nouvelles associations d'allèles sur les chromosomes des cellules haploïdes. • La formation de chiasmas entre chromatides non sœurs peut résulter en un échange d'allèles. • Les chromosomes homologues se séparent dans la méiose I. • Les chromatides sœurs se séparent dans la méiose II. • La ségrégation indépendante des gènes est due à l'orientation aléatoire des paires de chromosomes homologues durant la méiose I. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compétence : la schématisation de diagrammes pour montrer les chiasmas formés par enjambement. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les diagrammes des chiasmas doivent montrer les chromatides sœurs qui sont encore étroitement alignées, excepté à l'endroit où l'enjambement s'est produit et où un chiasma a été formé. 	

Idée essentielle : les gènes peuvent être liés ou non liés et leur hérédité en découle.

10.2 L'hérédité	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : Mendel a observé le monde naturel pour découvrir et expliquer des patterns et des tendances. Depuis, les scientifiques ont recherché les divergences et posé des questions sur la base d'autres observations pour montrer les exceptions aux règles. Par exemple, Morgan a découvert des rapports non mendéliens durant ses expériences avec <i>Drosophila</i>. (3.1)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Il a été vite découvert que la loi de la ségrégation indépendante a des exceptions lorsqu'on examine des gènes liés. Quelle est la différence entre une loi et une théorie en science ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Une compréhension de l'hérédité a permis aux agriculteurs de reproduire sélectivement leur bétail pour qu'il présente des caractéristiques spécifiques. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 3.4 L'hérédité</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 4: l'utilisation de compétences analytiques pour résoudre des croisements génétiques. Objectif global 8 : la prévention de la transmission de troubles génétiques héréditaires soulève des questions d'ordre éthique.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> On dit que les loci de gènes sont liés s'ils sont sur le même chromosome. Les gènes non liés se séparent indépendamment à la suite d'une méiose. La variation peut être discrète ou continue. Les phénotypes de caractères polygéniques ont tendance à présenter une variation continue. Les tests du chi-carré sont utilisés pour déterminer si la différence entre une distribution de fréquences observée et une distribution de fréquences attendue est statistiquement significative. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la découverte par Morgan des rapports non mendéliens chez la drosophile. Application : remplir et analyser des carrés de Punnett pour des caractères dihybrides. Application : les caractères polygéniques tels que la taille de l'être humain peuvent également être influencés par des facteurs environnementaux. Compétence : le calcul des rapports génotypiques et phénotypiques prédits chez les descendants de croisements dihybrides impliquant des gènes autosomiques non liés. 	

<p>10.2 L'hérédité</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compétence : l'identification de recombinants dans les croisements impliquant deux gènes liés. • Compétence : l'utilisation d'un test du chi-carré avec des données obtenues de croisements dihybrides. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans les croisements dihybrides, les allèles sont normalement montrés côte à côte, par exemple, TtBb. Lors de la représentation de croisements impliquant une liaison, il est plus courant de les montrer comme des paires verticales, comme l'illustre l'exemple ci-dessous : $\begin{array}{c} T B \\ \hline t b \end{array}$ <ul style="list-style-type: none"> • Ce format sera utilisé dans les épreuves d'examen, ou bien des informations suffisantes seront fournies aux élèves pour leur permettre de déduire les allèles qui sont liés.
-------------------------------	--

Idée essentielle : les pools géniques changent dans le temps.

10.3 Les pools géniques et la spéciation

Nature de la science

La recherche de patterns, de tendances et de divergences : les patterns du nombre de chromosomes dans certains genres peuvent s'expliquer par la spéciation due à la polyploidie. (3.1)

Notions clés

- Un pool génique se compose de tous les gènes et de leurs divers allèles, qui sont présents dans une population interféconde.
- L'évolution requiert que les fréquences d'allèles changent au fil du temps dans les populations.
- L'isolement reproductif des populations peut être temporel, comportemental ou géographique.
- La spéciation due à la divergence des populations isolées peut être progressive.
- La spéciation peut se produire soudainement.

Applications et compétences

- Application : l'identification d'exemples de sélection directionnelle, stabilisatrice et divergente.
- Application : la spéciation dans le genre *Allium* par polyploidie.
- Compétence : la comparaison de la fréquence des allèles de populations isolées géographiquement.

Directives et informations supplémentaires

- L'équilibre ponctué implique de longues périodes sans changement sensible et des périodes courtes d'évolution rapide.

Théorie de la connaissance

- Pendant longtemps, on a considéré que l'équilibre ponctué était une autre théorie de l'évolution et qu'il remettait en question le paradigme longuement établi du gradualisme darwinien. Comment les changements de paradigme évoluent-ils en science et quels facteurs sont impliqués dans leur succès ?

Utilisation

- De nombreuses espèces de culture ont été développées par polyploidie. La polyploidie augmente la diversité allélique et permet la production de nouveaux phénotypes. Elle conduit également à la vigueur des hybrides.

Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :

Biologie

Thème 5.1 Les preuves de l'évolution

Idée essentielle : l'immunité repose sur la reconnaissance du soi et sur la destruction de la matière étrangère.

11.1 La production d'anticorps et la vaccination	
<p>Nature de la science</p> <p>La considération des implications éthiques de la recherche. Jenner a testé son vaccin antivariolique chez un enfant. (4.5)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> L'Organisation mondiale de la santé a lancé en 1967 une campagne pour l'éradication globale de la variole. La campagne a été jugée fructueuse en 1977, seulement 10 ans plus tard. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Les vaccins à usage humain sont souvent produits en utilisant les réponses immunitaires d'autres animaux. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 6.3 La défense contre les maladies infectieuses Thème 11,4 La reproduction sexuée Géographie 2^e partie – F. Géographie de l'alimentation et de la santé</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : l'utilisation de bases de données pour analyser des données épidémiologiques.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Chaque organisme porte des molécules uniques à la surface de ses cellules. Les agents pathogènes peuvent être spécifiques à une espèce, alors que d'autres peuvent traverser les barrières interspécifiques. Chez les mammifères, les lymphocytes B sont activés par les lymphocytes T. Les lymphocytes B activés se multiplient pour former des clones de plasmocytes et des cellules-mémoire. Les plasmocytes sécrètent des anticorps. Les anticorps aident à détruire les agents pathogènes. Les globules blancs libèrent de l'histamine en réponse aux allergènes. Les histamines déclenchent des symptômes allergiques. L'immunité dépend de la persistance des cellules-mémoire. Les vaccins contiennent des antigènes qui déclenchent l'immunité mais qui ne causent pas la maladie. La fusion entre une cellule tumorale et un plasmocyte producteur d'anticorps crée un hybridome. Les anticorps monoclonaux sont produits par les hybridomes. 	

<p>11.1 La production d'anticorps et la vaccination</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la variole a été la première maladie infectieuse humaine à être éradiquée par la vaccination. • Application : les anticorps monoclonaux à l'HCG sont utilisés dans les tests de grossesse. • Application : les antigènes à la surface des globules rouges stimulent la production d'anticorps chez une personne de groupe sanguin différent. • Compétence : l'analyse de données épidémiologiques associées aux programmes de vaccination. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limiter la réponse immunitaire aux mammifères.
--	---

Idée essentielle : les rôles du système musculo-squelettique sont le mouvement, le support et la protection.

11.2 Le mouvement	
Nature de la science	
Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils. Les ions calcium fluorescents ont été utilisés pour étudier les interactions cycliques dans la contraction musculaire. (1.8)	
Notions clés	Objectifs globaux
<ul style="list-style-type: none"> • Les os et les exosquelettes servent d'attaches aux muscles et ils agissent comme des leviers. • Les articulations synoviales permettent certains mouvements mais pas d'autres. • Le mouvement du corps exige que les muscles fonctionnent en paires antagonistes. • Les fibres musculaires squelettiques sont multinucléées et elles contiennent du réticulum endoplasmique spécialisé. • Les fibres musculaires contiennent de nombreuses myofibrilles. • Chaque myofibrille se compose de sarcomères contractiles. • La contraction du muscle squelettique est obtenue grâce au glissement de filaments d'actine et de myosine. • L'hydrolyse de l'ATP et la formation de ponts d'union sont nécessaires pour que les filaments glissent. • Les ions calcium et les protéines tropomyosine et troponine contrôlent les contractions musculaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 7 : l'utilisation d'enregistreurs de données ayant trait à la force de préhension pour évaluer la fatigue musculaire. • Objectif global 7 : l'utilisation d'animations pour visualiser la contraction.
Applications et compétences	
<ul style="list-style-type: none"> • Application : les paires antagonistes de muscles dans la patte d'un insecte. • Compétence : l'annotation d'un diagramme représentant le coude humain. • Compétence : la schématisation de diagrammes annotés représentant la structure d'un sarcomère. • Compétence : l'analyse de photographies prises au microscope électronique pour identifier l'état de contraction des fibres musculaires. 	

11.2 Le mouvement**Directives et informations supplémentaires**

- Le diagramme du coude doit inclure le cartilage, le liquide synovial, la capsule articulaire, les os nommés et les muscles antagonistes nommés.
- Les schémas annotés de la structure d'un sarcomère doivent inclure les lignes Z, les filaments d'actine, les filaments de myosine avec les têtes et les bandes claires et sombres qui en résultent.
- La mesure de la longueur des sarcomères exigera l'étalonnage de l'échelle de l'oculaire du microscope.

Idée essentielle : tous les animaux excrètent des déchets azotés et certains animaux parviennent aussi à équilibrer les concentrations d'eau et de soluté.

11.3 Le rein et l'osmorégulation	
<p>Nature de la science</p> <p>La curiosité au sujet de phénomènes particuliers : des études ont été réalisées pour déterminer comment les animaux du désert empêchent la perte d'eau dans leurs déchets. (1.5)</p>	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'élimination de calculs rénaux par traitement aux ultrasons. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 1.3 La structure des membranes Thème 1.4 Le transport transmembranaire</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les animaux sont soit des osmorégulateurs, soit des osmotolérants. • Le système de tubes de Malpighi chez les insectes et le rein effectuent l'osmorégulation et l'élimination des déchets azotés. • La composition du sang dans l'artère rénale diffère de celle du sang dans la veine rénale. • L'ultrastructure du glomérule et la capsule de Bowman facilitent l'ultrafiltration. • Le tube contourné proximal réabsorbe sélectivement les substances utiles par transport actif. • L'anse de Henlé maintient les conditions hypertoniques dans la médulla rénale. • L'ADH contrôle la réabsorption de l'eau dans le tubule collecteur. • La longueur de l'anse de Henlé est positivement corrélée au besoin de conserver de l'eau chez les animaux. • Le type de déchets azotés chez les animaux est associé à l'histoire évolutive et à l'habitat. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les conséquences de la déshydratation et de l'hyperhydratation. • Application : le traitement de l'insuffisance rénale par hémodialyse ou par greffe de rein. 	

11.3 Le rein et l'osmorégulation

- Application : les cellules sanguines, le glucose, les protéines et les drogues sont détectés dans les analyses d'urine.
- Compétence : la schématisation et l'annotation d'un diagramme du rein humain.
- Compétence : l'annotation de diagrammes représentant le néphron.

Directives et informations supplémentaires

- « ADH » sera utilisé plutôt que « vasopressine ».
- Le diagramme du néphron doit inclure le glomérule, la capsule de Bowman, le tube contourné proximal, l'anse de Henlé et le tube contourné distal ; le rapport entre le néphron et le canal collecteur doit être inclus.

Idée essentielle : la reproduction sexuée implique le développement et la fusion de gamètes haploïdes.

11.4 La reproduction sexuée	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation des risques et des bénéfices associés à la recherche scientifique : les risques pour la fécondité masculine humaine n'ont pas été adéquatement évalués avant que des stéroïdes associés à la progestérone et aux œstrogènes ne soient libérés dans l'environnement à cause de l'usage de la pilule contraceptive féminine. (4.8)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 3.3 La méiose Thème 6.6 Les hormones, l'homéostasie et la reproduction</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les disputes au sujet de la responsabilité en ce qui concerne les embryons humains congelés.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La spermatogenèse et l'ovogenèse impliquent toutes deux la mitose, la croissance cellulaire, les deux divisions de la méiose et la différenciation. • Les processus dans la spermatogenèse et l'ovogenèse aboutissent à des nombres différents de gamètes ayant des quantités différentes de cytoplasme. • Chez les animaux, la fécondation peut être interne ou externe. • La fécondation implique des mécanismes qui empêchent la polyspermie. • L'implantation du blastocyste dans l'endomètre est essentielle pour que la grossesse se poursuive. • L'HCG stimule l'ovaire pour qu'il sécrète de la progestérone au stade précoce de la grossesse. • Le placenta facilite l'échange de substances entre la mère et le fœtus. • Les œstrogènes et la progestérone sont sécrétés par le placenta lorsqu'il est formé. • La naissance est orchestrée par rétroaction positive impliquant les œstrogènes et l'ocytocine. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les 38 semaines de la grossesse humaine moyenne peuvent être positionnées sur un graphique montrant la corrélation entre la taille des animaux et le développement des jeunes à la naissance chez les autres mammifères. 	

11.4 La reproduction sexuée

- Compétence : l'annotation de diagrammes des tubes séminifères et de l'ovaire pour montrer les stades de la gamétogenèse.
- Compétence : l'annotation de diagrammes de spermatozoïdes matures et de l'œuf pour en indiquer les fonctions.

Directives et informations supplémentaires

- La fécondation implique la réaction acrosomiale, la fusion de la membrane plasmique de l'œuf et du spermatozoïde et la réaction corticale.

Thèmes du tronc commun

Idee essentielle : la modification des neurones commence durant les stades précoces de l'embryogenèse et elle se poursuit jusqu'aux dernières années de la vie.

A.1 Le développement neural	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : la neurosciences du développement utilise une variété de modèles animaux. (1.10)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le tube neural des cordés embryonnaires est formé par l'incurvation de l'ectoderme vers l'intérieur, suivi de l'allongement du tube. Les neurones sont initialement produits par différenciation dans le tube neural. Les neurones immatures migrent vers une localisation finale. Un axone pousse à partir de chaque neurone immature en réponse à des stimuli chimiques. Certains axones s'étendent au-delà du tube neural afin d'atteindre d'autres parties du corps. Un neurone en cours de développement forme de multiples synapses. Les synapses qui ne sont pas utilisées ne persistent pas. L'émondage neural implique la perte des neurones inutilisés. La plasticité du système nerveux lui permet de changer avec l'expérience. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> De l'émondage neural résulte des expériences culturelles, incluant l'acquisition d'un langage. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> La recherche sur la croissance de tissus nerveux en vue de régénérer des tissus pour des patients ayant subi une lésion de la moelle épinière continue à progresser. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 6.5 Les neurones et les synapses</p>

<p>A.1 Le développement neural</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la fermeture incomplète du tube neural embryonnaire peut provoquer le <i>spina-bifida</i>. • Application : des événements tels que des accidents vasculaires cérébraux peuvent favoriser la réorganisation de la fonction cérébrale. • Compétence : l'annotation d'un diagramme des tissus embryonnaires chez <i>Xenopus</i>, utilisé en tant que modèle animal, durant la neurulation. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les termes relatifs aux zones cérébrales ou aux divisions du système nerveux embryonnaires ne sont pas requis.
---	---

Idée essentielle : les parties du cerveau se spécialisent dans des fonctions différentes.

A.2 Le cerveau humain	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : l'homoncule sensoriel et l'homoncule moteur sont des modèles de l'espace relatif qu'occupent les parties de l'organisme humain sur le cortex somesthésique et le cortex moteur. (1.10)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> La définition de la vie varie en fonction des lois et de la culture locales et nationales. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> En médecine, le concept de la mort est défini en termes de fonction cérébrale, mais il peut parfois y avoir des conflits quand les critères médicaux de la mort diffèrent de ceux qu'en a la famille. Dans quelle mesure les points de vue des membres de la famille doivent-ils avoir priorité lors de la prise de décisions en matière d'éthique médicale ? Quels critères devrions-nous utiliser pour prendre des décisions éthiques ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Le syndrome d'Angelman est une affection héréditaire qui est diagnostiquée lorsque l'électroencéphalogramme présente des profils anormaux caractéristiques.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La partie antérieure du tube neural se développe pour former le cerveau. Différentes parties du cerveau ont des rôles spécifiques. Le système nerveux autonome contrôle des processus involontaires dans l'organisme en utilisant les centres situés dans le bulbe rachidien. Le cortex cérébral forme une plus grande proportion du cerveau et il est plus développé chez l'être humain que chez d'autres animaux. Le cortex cérébral humain est devenu plus volumineux principalement à cause d'une augmentation de surface totale, avec repliement extensif pour pouvoir le loger dans le crâne. Les hémisphères cérébraux sont responsables des fonctions d'ordre supérieur. L'hémisphère cérébral gauche reçoit les influx sensoriels des récepteurs sensoriels du côté droit du corps et du côté droit du champ de vision des deux yeux, et vice-versa pour l'hémisphère droit. L'hémisphère cérébral gauche contrôle la contraction musculaire du côté droit du corps et vice-versa pour l'hémisphère droit. Le métabolisme cérébral nécessite de grands apports d'énergie. 	

A.2 Le cerveau humain

Applications et compétences

- Application : le cortex visuel, la zone de Broca, le noyau accumbens en tant que zones du cerveau ayant des fonctions spécifiques.
- Application : la déglutition, la respiration et la fréquence cardiaque en tant qu'exemples d'activités coordonnées par le bulbe.
- Application : l'utilisation du réflexe pupillaire pour évaluer les dommages cérébraux.
- Application : l'utilisation d'expériences avec des animaux, d'autopsies des lésions et de l'IRMf pour identifier le rôle de différentes parties du cerveau.
- Compétence : l'identification de parties du cerveau sur une photographie, un diagramme ou une scintigraphie cérébrale.
- Compétence : l'analyse de corrélations entre la taille du corps et la taille du cerveau chez des animaux différents.

Directives et informations supplémentaires

- L'image du cerveau doit inclure le bulbe rachidien, le cervelet, l'hypothalamus, l'hypophyse et les hémisphères cérébraux.
- Bien que des fonctions spécifiques puissent être attribuées à certaines zones, l'imagerie cérébrale montre que certaines activités sont couvertes par de nombreuses zones et que le cerveau peut même se réorganiser à la suite d'une perturbation telle qu'un accident vasculaire cérébral.

Idée essentielle : les organismes vivants sont en mesure de détecter les changements dans l'environnement.

A.3 La perception des stimuli	
<p>Nature de la science</p> <p>La compréhension de la science sous-jacente est à la base des développements technologiques. La découverte qu'une stimulation électrique du système auditif peut créer une perception du son a abouti au développement de prothèses auditives électriques puis d'implants cochléaires. (1.2)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> D'autres organismes peuvent détecter des stimuli qui ne peuvent pas être détectés par les êtres humains. Par exemple, certains pollinisateurs peuvent détecter la radiation électromagnétique dans la gamme non visible. Par conséquent, il est possible qu'ils puissent percevoir qu'une fleur porte des motifs alors que nous la percevons comme une fleur unie. Dans quelle mesure, de ce fait, ce que nous percevons est-il simplement une construction individuelle de la réalité ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 3.4 L'hérédité Physique Thème 4.2 Ondes progressives</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les récepteurs détectent des changements dans l'environnement. Les bâtonnets et les cônes sont des photorécepteurs situés dans la rétine. Les bâtonnets et les cônes diffèrent par leurs sensibilités aux intensités et aux longueurs d'onde de la lumière. Les cellules bipolaires envoient les influx des bâtonnets et des cônes aux cellules ganglionnaires. Les cellules ganglionnaires envoient les messages au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique. Les informations provenant du champ de vision droit des deux yeux sont envoyées à la partie gauche du cortex visuel et vice-versa. Les structures de l'oreille moyenne transmettent et amplifient le son. Les cils sensoriels de la cochlée détectent des sons d'une fréquence spécifique. Les influx causés par la perception des sons sont transmis au cerveau par l'intermédiaire du nerf auditif. Les cellules sensorielles ciliées des canaux semicirculaires détectent le mouvement de la tête. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la cécité au rouge-vert en tant que variante de la vision trichromatique normale. Application : la détection de produits chimiques dans l'air grâce aux nombreux et différents récepteurs olfactifs. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> D'autres organismes peuvent détecter des stimuli qui ne peuvent pas être détectés par les êtres humains. Par exemple, certains pollinisateurs peuvent détecter la radiation électromagnétique dans la gamme non visible. Par conséquent, il est possible qu'ils puissent percevoir qu'une fleur porte des motifs alors que nous la percevons comme une fleur unie. Dans quelle mesure, de ce fait, ce que nous percevons est-il simplement une construction individuelle de la réalité ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 3.4 L'hérédité Physique Thème 4.2 Ondes progressives</p>

A.3 La perception des stimuli

- Application : l'utilisation d'implants cochléaires chez des patients sourds.
- Compétence : l'annotation d'un diagramme de la structure de l'œil humain.
- Compétence : l'annotation d'un diagramme de la rétine pour montrer les types de cellules et le sens dans lequel la lumière se déplace.
- Compétence : l'annotation d'un diagramme de la structure de l'oreille humaine.

Directives et informations supplémentaires

- Les récepteurs sensoriels de l'être humain doivent inclure les mécanorécepteurs, les chimiorécepteurs, les thermorécepteurs et les photorécepteurs.
- Le diagramme de l'œil humain doit inclure la sclérotique, la cornée, la conjonctive, la paupière, la choroïde, l'humeur aqueuse, la pupille, le cristallin, l'iris, l'humeur vitrée, la fovéa, le nerf optique et la tache aveugle.
- Le diagramme de la rétine doit inclure les bâtonnets et les cônes, les neurones bipolaires et les cellules ganglionnaires.
- Le diagramme de l'oreille doit inclure le pavillon de l'oreille, le tympan, les os de l'oreille moyenne, la fenêtre ovale, la fenêtre ronde, les canaux semicirculaires, le nerf auditif et la cochlée.

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : les patterns comportementaux peuvent être héréditaires ou acquis.

A.4 Le comportement inné et le comportement acquis	
<p>Nature de la science</p> <p>La recherche de patterns, de tendances et de divergences : les expériences en laboratoire et les études sur le terrain ont aidé à comprendre les divers types de comportements et d'apprentissage. (3.1)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Il nous est facile de deviner comment le comportement d'un animal risque d'influencer sa chance de survie et de reproduction. L'intuition est-elle un point de départ valide pour les scientifiques ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : l'enregistrement de données en utilisant un capteur ECG pour analyser les réflexes neuromusculaires. Objectif global 8 : les expériences avec les animaux : les implications des politiques actuelles concernant l'utilisation des animaux pour les sciences expérimentales dans les expériences de Pavlov.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le comportement inné est hérité des parents et il se développe donc indépendamment de l'environnement. Les réponses autonomes et involontaires sont appelées réflexes. Les arcs réflexes comprennent les neurones qui négocient les réflexes. Le conditionnement réflexe implique la formation de nouvelles associations. Le comportement acquis se développe par l'expérience. L'empreinte est l'apprentissage qui se produit à un stade particulier de la vie et qui est indépendant des conséquences du comportement. Le conditionnement opérant est une forme d'apprentissage qui consiste en des expériences par tâtonnement. L'apprentissage est l'acquisition de compétences ou de connaissances. La mémoire est le processus qui consiste à coder et à stocker les informations et à y accéder. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : le réflexe de retrait de la main lors d'un stimulus douloureux. Application : les expériences de Pavlov sur le conditionnement des réflexes chez le chien. 	

A.4 Le comportement inné et le comportement acquis	
	<ul style="list-style-type: none"> • Application : le rôle de l'hérédité et de l'apprentissage dans le développement du chant des oiseaux. • Compétence : l'analyse de données d'expériences sur le comportement des invertébrés ayant trait à l'effet sur les chances de survie et de reproduction. • Compétence : la schématisation et l'annotation d'un diagramme d'un arc réflexe de retrait à la douleur. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le schéma de l'arc réflexe doit inclure la cellule réceptrice, le neurone sensitif, l'interneurone, le neurone moteur et l'effecteur.

Idée essentielle : la communication entre les neurones peut être altérée par la manipulation de la libération et de la réception de messagers chimiques.

A.5 La neuropharmacologie	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation des risques associés à la recherche scientifique : les défenseurs des patients feront souvent pression pour accélérer les processus d'homologation des médicaments, encourageant ainsi une plus grande tolérance du risque. (4.5)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Les attitudes envers les drogues et leur usage diffèrent d'une région à l'autre du globe. De nombreuses cultures utilisent des drogues pour relever les rites ou les expériences religieuses. <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> On a utilisé de nombreux psychotropes à des fins thérapeutiques pour traiter toute une gamme de maladies mentales et de troubles psychologiques. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Chimie Option D. La chimie médicinale Thème D.1 L'action des produits pharmaceutiques et des drogues Thème D.3 Les opiacés Psychologie Tronc commun – Le niveau d'analyse biologique</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : les conséquences sociales des drogues psychotropes, pour l'utilisateur, sa famille et la société en général, peuvent être abordées.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Certains neurotransmetteurs excitent l'influx nerveux dans les neurones postsynaptiques et d'autres les inhibent. La sommation de tous les neurotransmetteurs excitateurs et inhibiteurs reçus des neurones présynaptiques cause l'initiation ou l'inhibition des influx nerveux dans les neurones postsynaptiques. De nombreux neurotransmetteurs à action lente différents modulent la transmission synaptique rapide dans le cerveau. La mémoire et l'apprentissage impliquent des changements causés par les neurotransmetteurs à action lente dans les neurones. Les drogues psychotropes affectent le cerveau soit en augmentant, soit en réduisant la transmission postsynaptique. Les anesthésiques agissent en interférant avec la transmission neurale entre les zones de perception sensorielle et le SNC. Les stimulants imitent la stimulation fournie par le système nerveux sympathique. L'addiction peut être affectée par la prédisposition génétique, l'environnement social et la sécrétion de dopamine. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les effets de deux stimulants et de deux sédatifs sur le système nerveux. Application : l'effet des anesthésiques sur l'état de conscience. 	

A.5 La neuropharmacologie

- Application : les endorphines peuvent agir comme des analgésiques.
- Compétence : l'évaluation de données montrant l'impact de la MDMA (ecstasy) sur le métabolisme de la sérotonine et de la dopamine dans le cerveau.

Directives et informations supplémentaires

- La nicotine, la cocaïne ou les amphétamines sont des exemples de stimulants.
- Les benzodiazépines, l'alcool ou le tétrahydrocannabinol (THC) sont des exemples de sédatifs.

Idée essentielle : la sélection naturelle favorise des types de comportement spécifiques.

A.6 L'éthologie	
Nature de la science	
La mise à l'épreuve d'une hypothèse : des expériences pour tester des hypothèses ayant trait au comportement migrateur des fauvettes à tête noire ont été réalisées. (1.9)	
Notions clés <ul style="list-style-type: none"> • L'éthologie est l'étude du comportement des animaux dans des conditions naturelles. • La sélection naturelle peut modifier la fréquence du comportement observé des animaux. • Un comportement qui augmente les chances de survie et de reproduction deviendra plus prévalent dans une population. • Le comportement acquis peut se répandre dans une population ou être perdu plus rapidement que le comportement inné. Applications et compétences <ul style="list-style-type: none"> • Application : le comportement migrateur des fauvettes à tête noire à titre d'exemple de la base génétique du comportement et de son changement par sélection naturelle. • Application : le partage de sang chez les chauves-souris vampires en tant qu'exemple du développement d'un comportement altruiste par sélection naturelle. • Application : le comportement de recherche de nourriture des crabes des rivages en tant qu'exemple des chances de survie accrues par choix de proie optimal. • Application : les stratégies de reproduction des populations de saumon coho en tant qu'exemple de comportement affectant les chances de survie et de reproduction. 	Théorie de la connaissance <ul style="list-style-type: none"> • Les récits « Just So » par Rudyard Kipling sont des explications littéraires du comportement des animaux. Quelles sont les caractéristiques d'une explication scientifique, par comparaison à une explication historique ou littéraire ? Utilisations <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 5.2 La sélection naturelle</p>

A.6 L'éthologie	<ul style="list-style-type: none">• Application : la parade nuptiale chez les paradisiers en tant qu'exemple de la sélection d'un partenaire.• Application : le rut synchronisé chez les lionnes dans une troupe en tant qu'exemple de comportement inné qui augmente les chances de survie et de reproduction.• Application : la dégustation par les mélanges bleues de la crème sur les bouteilles de lait en tant qu'exemple du développement et de la perte d'un comportement acquis. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les sept applications dans ce sous-thème ont pour but d'approfondir l'assimilation des principes généraux. Les applications comprennent une gamme de types de comportements et de types d'animaux. Si possible, il serait bon d'étudier également des exemples locaux que l'on peut observer.
------------------------	--

Thèmes du tronc commun

Idee essentielle : les microorganismes peuvent être utilisés et modifiés pour effectuer des processus industriels.

B.1 La microbiologie : les organismes dans l'industrie	
<p>Nature de la science</p> <p>La sérendipité a conduit à des découvertes scientifiques : la découverte de la pénicilline par Alexander Fleming pourrait être vue comme un événement fortuit. (1.4)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Alexander Fleming a découvert la pénicilline en Angleterre en 1928, sur une boîte de Petri jetée au rebut. Dans quelle mesure la découverte faite par Alexandre Fleming était-elle une observation faite par pure chance ou percevons-nous uniquement ce à quoi nous sommes ouverts ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 2.1 Des molécules au métabolisme Thème 4.3 Le cycle du carbone Thème 6.3 La défense contre les maladies infectieuses</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les microorganismes sont divers sur le plan du métabolisme. Les microorganismes sont utilisés dans l'industrie parce qu'ils sont petits et que leur taux de croissance est rapide. L'ingénierie métabolique optimise les processus génétiques et régulateurs au sein des microorganismes. L'ingénierie métabolique est utilisée dans l'industrie pour produire des métabolites présentant un intérêt. Les cuves de fermentation permettent la production à grande échelle de métabolites par des microorganismes. La fermentation est effectuée par culture discontinue (<i>batch</i>) ou continue. Dans les cuves de fermentation, les microorganismes deviennent limités par leurs propres déchets. Des sondes servent à contrôler les conditions dans les cuves de fermentation. Les conditions sont maintenues à des niveaux optimaux pour assurer la croissance des microorganismes cultivés. 	

B.1 La microbiologie : les organismes dans l'industrie

Applications et compétences

- Application : la fermentation discontinue (*batch*) dans des cuves profondes pour la production en masse de pénicilline.
- Application : la production d'acide citrique dans une cuve de fermentation en continu par *Aspergillus niger* et son utilisation en tant qu'agent de conservation et d'aromatisation.
- Application : le biogaz est produit par des bactéries et des archéens à partir de matière organique dans les cuves de fermentation.
- Compétence : la coloration de Gram des bactéries Gram négatif et Gram positif.
- Compétence : les expériences montrant la zone d'inhibition de la croissance bactérienne par des bactéricides dans des cultures bactériennes stériles.
- Compétence : la production de biogaz dans une cuve de fermentation à petite échelle.

Idée essentielle : les cultures peuvent être modifiées pour augmenter les rendements et obtenir de nouveaux produits.

B.2 La biotechnologie en agriculture	
Nature de la science	
L'évaluation des risques et des bénéfices associés à la recherche scientifique : les scientifiques doivent évaluer le potentiel des gènes de résistance aux herbicides s'infiltrant dans la population sauvage. (4.8)	
Notions clés	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> Les organismes transgéniques produisent des protéines qui ne faisaient pas auparavant partie du protéome propre à leur espèce. La modification génétique peut servir à surmonter la résistance environnementale pour augmenter la production agricole. Les cultures génétiquement modifiées peuvent servir à produire de nouveaux produits. La bioinformatique joue un rôle dans l'identification des gènes cibles. Le gène cible est lié à d'autres séquences qui contrôlent son expression. Un cadre de lecture ouvert est une longueur importante d'ADN entre un codon de départ et un codon d'arrêt. Les gènes marqueurs sont utilisés pour indiquer une absorption réussie. L'ADN recombinant doit être introduit dans la cellule végétale et intégré à son ADN chromosomique ou chloroplastique. L'ADN recombinant peut être introduit dans des plantes entières, des disques de feuilles ou des protoplastes. L'ADN recombinant peut être introduit par des méthodes physiques et chimiques directement ou indirectement par le biais de vecteurs. 	<p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie</p> <p>Thème 1.5 L'origine des cellules</p> <p>Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie</p> <p>Systèmes de l'environnement et sociétés</p> <p>Thème 5.2 Les systèmes de production de nourriture terrestre</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 7 : l'utilisation de la bioinformatique pour déterminer les séquences à modifier. Objectif global 8 : l'introduction de la pomme de terre Amflora en Europe a des implications éthiques et politiques.

B.2 La biotechnologie en agriculture

Applications et compétences

- Application : l'utilisation d'un plasmide inducteur de tumeur (iT) d'*Agrobacterium tumefaciens* pour introduire une résistance au glyphosate dans les cultures de soja.
- Application : la modification génétique du virus de la mosaïque du tabac pour permettre la production en masse du vaccin anti-hépatite B dans les plants de tabac.
- Application : la production de la pomme de terre Amflora (*Solanum tuberosum*) pour les industries du papier et des adhésifs.
- Compétence : l'évaluation de données ayant trait à l'impact du soja résistant au glyphosate sur l'environnement.
- Compétence : l'identification d'un cadre de lecture ouvert (CLO).

Directives et informations supplémentaires

- Une longueur significative d'ADN pour un cadre de lecture ouvert contient un nombre suffisant de nucléotides pour coder une chaîne polypeptidique.
- Limiter les méthodes chimiques d'introduction de gènes dans les plantes au chlorure de calcium et aux liposomes.
- Limiter les méthodes physiques d'introduction de gènes dans les plantes à l'électroporation, à la microinjection et à la biolistique (micro-projectiles).
- Limiter les vecteurs à *Agrobacterium tumefaciens* et au virus de la mosaïque du tabac.

Idee essentielle : la biotechnologie peut être utilisée dans la prévention et la minimisation de la contamination par les déchets industriels, agricoles et municipaux.

B.3 La protection de l'environnement	
Nature de la science	
Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations des appareils : l'utilisation d'outils comme le microscope laser à balayage a permis aux scientifiques de mieux comprendre la structure des films biologiques. (1.8)	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les réponses à des accidents de pollution peuvent impliquer une biorestauration associée à des procédures physiques et chimiques. • Des microorganismes sont utilisés dans la biorestauration. • Certains polluants sont métabolisés par des microorganismes. • Des agrégats coopérateurs de microorganismes peuvent former des biofilms. • Les biofilms possèdent des propriétés émergentes. • Les microorganismes qui se développent dans un biofilm sont très résistants aux agents antimicrobiens. • Dans les biofilms, les microorganismes coopèrent par détection du quorum. • Les bactériophages sont utilisés dans la désinfection des systèmes hydriques. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la dégradation du benzène par des bactéries halophiles comme <i>Marinobacter</i>. • Application : la dégradation du pétrole par <i>Pseudomonas</i>. • Application : la conversion par <i>Pseudomonas</i> du mercure méthylique en mercure élémentaire. • Application : l'utilisation de biofilms dans des lits bactériens pour le traitement des eaux usées. • Compétence : l'évaluation de données ou de rapports dans les médias ayant trait aux problèmes environnementaux causés par des biofilms. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lors de déversements accidentels de pétrole, les scientifiques de diverses régions du globe travaillent ensemble pour protéger l'environnement. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les propriétés émergentes sont le résultat de l'interaction des éléments d'un système. Dans quel contexte une approche réductionniste à la science est-elle productive et dans quel contexte une telle approche est-elle problématique ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 1 – La biologie cellulaire Chimie Thème C.2 Les combustibles fossiles Systèmes de l'environnement et sociétés Thème 4.4 La pollution de l'eau Thème 6.3 Le brouillard photochimique Thème 6.4 Les dépôts acides</p>

B.3 La protection de l'environnement**Directives et informations supplémentaires**

- Des exemples de problèmes environnementaux causés par les biofilms pourraient inclure le colmatage et la corrosion de tuyaux, le transfert de microorganismes dans l'eau de ballast ou la contamination de surfaces dans la production alimentaire.

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : la biotechnologie peut être utilisée dans le diagnostic et le traitement des maladies.

B.4 La médecine	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique succèdent aux améliorations en technologie. L'innovation en technologie a permis aux scientifiques de diagnostiquer et de traiter des maladies. (1,8)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'infection par un agent pathogène peut être détectée par la présence de son matériel génétique ou par ses antigènes. • La prédisposition à une maladie génétique peut être détectée par la présence de marqueurs. • Des microréseaux à ADN peuvent être utilisés pour détecter une prédisposition génétique à une maladie ou pour la diagnostiquer. • Les métabolites qui indiquent la présence d'une maladie peuvent être détectés dans le sang et l'urine. • Les expériences à l'aide de marqueurs servent à obtenir des informations sur la localisation ou l'interaction d'une protéine désirée. • La pharmaculture (<i>biopharming</i>) utilise des animaux et des plantes génétiquement modifiés pour produire des protéines à des fins thérapeutiques. • Les vecteurs viraux peuvent être utilisés en thérapie génique. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des cas où des sujets ont succombé à la suite de leur participation à un protocole de recherche en thérapie génique ont été rapportés dans le monde entier. Comment la décision de poursuivre des procédures dangereuses est-elle prise ? • Qu'est-ce qui constitue un niveau de risque acceptable pour que la participation d'êtres humains à une recherche scientifique soit autorisée ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 3.5 La modification génétique et la biotechnologie Thème 6.3 La défense contre les maladies infectieuses Thème 11.1 La production d'anticorps et la vaccination</p>

B.4 La médecine	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none">• Application : l'utilisation de l'ACP pour détecter diverses souches du virus de la grippe.• Application : le suivi de cellules tumorales au moyen de la transférine liée à des sondes luminescentes.• Application : la pharmaculture de l'antithrombine.• Application : l'utilisation de vecteurs viraux dans le traitement du déficit immunitaire combiné sévère (DICS).• Compétence : l'analyse d'un microréseau simple.• Compétence : l'interprétation des résultats d'un test diagnostique ELISA.
------------------------	--

Idée essentielle : la bioinformatique est l'utilisation d'ordinateurs pour analyser des données séquentielles en recherche biologique.

B.5 La bioinformatique	
Nature de la science	
La coopération et la collaboration entre groupes de scientifiques : les bases de données sur Internet permettent d'accéder librement aux informations. (4.3)	
Notions clés	Théorie de la connaissance
<ul style="list-style-type: none"> • Les bases de données permettent aux scientifiques d'avoir facilement accès à l'information. • La masse de données stockées dans les bases de données augmente exponentiellement. • Les recherches à l'aide de la méthode d'alignement local BLAST peuvent identifier des séquences similaires dans des organismes différents. • La fonction génique peut être étudiée en utilisant des modèles d'organismes ayant des séquences similaires. • Les logiciels d'alignement de séquences permettent de comparer les séquences provenant d'organismes différents. • BLASTn permet l'alignement de séquences nucléotidiques alors que BLASTp permet l'alignement de séquences protéiniques. • Des recherches peuvent être effectuées dans des bases de données pour comparer des séquences nouvellement identifiées avec des séquences à fonction connue dans d'autres organismes. • L'alignement de multiples séquences est utilisé dans l'étude de la phylogénétique. • Un EST est un marqueur de séquences exprimées qui peut être utilisé pour identifier des gènes potentiels. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les assertions justifiées par référence aux bases de données soulèvent des questions de connaissance uniques. Dans quelle mesure les assertions justifiées par référence aux sources de données développées à diverses fins par des chercheurs différents en utilisant des méthodes différentes sont-elles fiables ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 6 : l'alignement de séquences de protéines connexes telles que l'hémoglobine et la myoglobine pourrait être examiné.

B.5 La bioinformatique	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none">• Application : l'utilisation de la technique d'inactivation génique (<i>knockout</i>) chez la souris pour déterminer la fonction génique.• Application : la découverte de gènes par exploration de données (<i>data mining</i>) EST.• Compétence : l'exploration du chromosome 21 dans les bases de données (par exemple, dans Ensembl).• Compétence : l'utilisation d'un logiciel pour aligner deux protéines.• Compétence : l'utilisation d'un logiciel pour construire de simples cladogrammes et phylogrammes d'organismes apparentés en utilisant des séquences d'ADN.
-------------------------------	--

Thèmes du tronc commun

Idée essentielle : la structure d'une communauté est une propriété émergente d'un écosystème.

C.1 Les espèces et les communautés	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : les graphiques des zones de stress et les limites de tolérance constituent des modèles du monde réel qui ont une efficacité prédictive et qui expliquent la structure des communautés. (1.10)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Des échantillons aléatoires sont prélevés dans le cadre d'études impliquant de grandes zones géographiques ou si le temps est limité. L'échantillonnage aléatoire est-il un outil utile pour les scientifiques en dépit d'un risque d'échantillonnage biaisé ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Géographie 2^e partie – C. Milieux extrêmes</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : les facteurs influençant les herbivores pourraient être examinés.
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La répartition des espèces est affectée par des facteurs limitants. La structure d'une communauté peut être fortement affectée par des espèces clés. Au sein d'une communauté, chaque espèce joue un rôle unique en raison de l'association unique de son habitat spatial et des interactions avec les autres espèces. Dans une communauté, les interactions entre les espèces peuvent être classifiées en fonction de leur effet. Deux espèces ne peuvent pas survivre indéfiniment dans le même habitat si leurs niches sont identiques. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : la répartition d'une espèce animale et d'une espèce végétale pour illustrer les limites de tolérance et les zones de stress. Application : des exemples locaux pour illustrer l'éventail des manières par lesquelles les espèces peuvent interagir au sein d'une communauté. 	

C.1 Les espèces et les communautés	
	<ul style="list-style-type: none">• Application : la relation symbiotique entre <i>Zooxanthellae</i> et les espèces de coraux hermatypiques.• Compétence : l'analyse d'un ensemble de données qui illustre la distinction entre une niche fondamentale et une niche réalisée.• Compétence : l'utilisation d'un transect pour corréler la répartition d'une espèce végétale ou animale à un facteur abiotique.

Idee essentielle : les changements dans la structure d'une communauté affectent et sont affectés par les organismes.

C.2 Les communautés et les écosystèmes	
<p>Nature de la science</p> <p>L'utilisation de modèles pour représenter le monde réel : les pyramides énergétiques représentent le flux d'énergie dans les écosystèmes. (1.10)</p> <p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • La plupart des espèces occupent des niveaux trophiques différents dans des chaînes alimentaires multiples. • Un réseau trophique montre toutes les chaînes alimentaires possibles dans une communauté. • Le pourcentage d'énergie ingérée convertie en biomasse dépend du taux de respiration. • Le type d'écosystème stable qui émergera dans une zone est prévisible d'après le climat. • Dans les écosystèmes fermés, il y a échange d'énergie mais non de matière avec les alentours. • Les perturbations influencent la structure et le taux de changement au sein des écosystèmes. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : le taux de conversion dans les pratiques de production alimentaire renouvelables. • Application : la considération d'un exemple de la manière dont les êtres humains interfèrent avec le cycle des nutriments. • Compétence : la comparaison des pyramides énergétiques provenant d'écosystèmes différents. • Compétence : l'analyse d'un climatogramme montrant le rapport entre la température, les précipitations avec l'écosystème. 	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les entités dans les modèles des scientifiques, par exemple, les niveaux trophiques ou les diagrammes de Gersmehl, existent-elles vraiment, ou sont-elles des inventions principalement utiles pour prédire et expliquer le monde naturel ? <p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les poikilothermes (animaux à température corporelle variable) sont des producteurs de protéines plus efficaces que les homéothermes (animaux maintenant une température corporelle régulée) car leur taux de conversion des aliments en biomasse est plus élevé. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 4.2 Le flux d'énergie</p>

C.2 Les communautés et les écosystèmes	
<ul style="list-style-type: none"> • Compétence : la construction de diagrammes de Gersmehl pour montrer les interrelations entre les stocks et les flux de nutriments entre la forêt boréale, le désert et les forêts tropicales humides. • Compétence : l'analyse de données montrant la succession primaire. • Compétence : l'étude de l'effet d'une perturbation environnementale sur un écosystème. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • La diversité des espèces, le cycle des nutriments, le mouvement de l'eau, l'érosion et l'indice foliaire font partie d'exemples d'aspects à examiner dans l'écosystème. 	

Idee essentielle : les activités des êtres humains ont un impact sur la fonction des écosystèmes.

C.3 L'impact de l'être humain sur les écosystèmes	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation des risques et des bénéfices associés à la recherche scientifique : l'utilisation du contrôle biologique est associée à un risque et elle doit être vérifiée par des expériences strictement contrôlées avant qu'elle ne soit approuvée. (4.8)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Plus de 100 pays du monde entier ont accepté d'interdire la production de CFC afin de limiter la destruction de la couche d'ozone. <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 8 : de nombreux pays développés exportent des déchets toxiques vers des pays moins développés. La compensation financière en échange de déchets dangereux est-elle juste ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Des espèces étrangères peuvent s'infiltrer dans les écosystèmes locaux et devenir invasives. L'exclusion compétitive et l'absence de prédateurs peut mener à une réduction des nombres d'espèces endémiques quand les espèces étrangères deviennent invasives. Les polluants deviennent concentrés dans les tissus des organismes occupant les niveaux trophiques plus élevés par biomagnification. Des débris de matières macroplastiques et microplastiques se sont accumulés dans les milieux marins. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : l'étude de l'introduction du crapaud buffle en Australie et un autre exemple local d'introduction d'une espèce étrangère. Application : discussion du compromis entre le contrôle du parasite du paludisme et la pollution par le DDT. Application : étude de cas de l'impact des débris de matières plastiques dans les milieux marins sur les albatros de Laysan et sur une autre espèce nommée. Compétence : l'analyse de données illustrant les causes et les conséquences de la biomagnification. Compétence : l'évaluation des programmes d'éradication et de contrôle biologique comme mesures de réduction de l'impact des espèces étrangères. 	

Idée essentielle : des communautés entières doivent être conservées pour protéger la biodiversité.

C.4 La protection de la biodiversité	
<p>Nature de la science</p> <p>Les scientifiques collaborent avec d'autres agences. La protection des espèces implique une collaboration internationale par l'intermédiaire d'organismes intergouvernementaux et non gouvernementaux. (4.3)</p>	<p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : les scientifiques bénéficiant de l'aide des gouvernements déploient des efforts relativement importants pour sauver des espèces d'animaux particulières. Des critères peuvent-ils être établis pour justifier une hiérarchie de valeur d'une espèce par rapport à une autre ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une espèce indicatrice est un organisme utilisé pour évaluer une condition environnementale spécifique. • Des nombres relatifs d'espèces indicatrices peuvent être utilisés pour calculer la valeur de l'indice biotique. • La conservation in situ peut exiger la gestion active des réserves naturelles ou des parcs nationaux. • La conservation ex situ est la protection des espèces hors de leurs habitats naturels. • Les facteurs biogéographiques affectent la diversité des espèces. • La richesse et l'uniformité sont des composants de la biodiversité. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'étude de cas de la reproduction en captivité et de la réintroduction d'une espèce d'animal en voie de disparition. • Application : l'analyse de l'impact des facteurs biogéographiques sur la diversité en se limitant à la taille d'une île et aux effets de bordure. • Compétence : l'analyse de la biodiversité de deux communautés locales en utilisant l'indice de diversité réciproque de Simpson. 	

C.4 La protection de la biodiversité	<p data-bbox="300 1532 323 2036">Directives et informations supplémentaires</p> <ul data-bbox="347 1167 555 2036" style="list-style-type: none"><li data-bbox="347 1167 371 2036">• La formule pour l'indice de diversité réciproque de Simpson est la suivante : $D = \frac{N(N-1)}{\sum n(n-1)}$<li data-bbox="496 1167 555 2036">• D = indice de diversité, N = nombre total d'organismes de toutes les espèces trouvées et n = nombre d'individus d'une espèce particulière.
---	--

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : les processus biologiques dynamiques ont un impact sur la densité d'une population et sur sa croissance.

C.5 L'écologie des populations	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évitement du biais : un générateur de nombres aléatoires aide à assurer que l'échantillonnage prélevé dans une population ne soit pas biaisé. (5,4)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les techniques d'échantillonnage servent à estimer la taille d'une population. • Le profil de croissance exponentielle est observé dans un environnement illimité idéal. • La croissance d'une population ralentit au fur et à mesure qu'elle se rapproche de la capacité de charge de l'environnement. • Les phases illustrées par la courbe sigmoïde peuvent s'expliquer par les taux relatifs de natalité, de mortalité, d'immigration et d'émigration. • Les facteurs limitants peuvent être descendants ou ascendants. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'évaluation des méthodes utilisées pour estimer la taille des stocks commerciaux de ressources marines. • Application : l'utilisation de la méthode de capture-marquage-libération-recapture pour estimer la taille de la population d'une espèce animale. • Application : discussion sur l'effet de la natalité, de la mortalité, de l'immigration et de l'émigration sur la taille d'une population. 	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les problèmes entourant la croissance permanente de la population humaine mondiale sont une préoccupation internationale bien que le taux de croissance diffère d'un pays à l'autre. <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Géographie 1^{re} partie – 1. Population en transition Systèmes de l'environnement et sociétés Thème 8.4 La capacité de charge de la population humaine</p>

C.5 L'écologie des populations

- Application : l'analyse de l'effet de la taille d'une population, de l'âge et du statut reproducteur sur les pratiques de pêche renouvelable.
- Application : le contrôle ascendant des efflorescences algales par carence en nutriments et le contrôle descendant par les herbivores.
- Compétences : modélisation de la courbe de croissance en utilisant un organisme simple comme la levure ou une espèce de *Lemna*.

Idée essentielle : les cycles des sols sont sujets à des perturbations.

C.6 Les cycles de l'azote et du phosphore	
<p>Nature de la science</p> <p>L'évaluation des risques et des bénéfices de la recherche scientifique : les pratiques agricoles peuvent perturber le cycle du phosphore. (4.8)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les bactéries fixatrices d'azote convertissent l'azote atmosphérique en ammoniacale. • <i>Rhizobium</i> s'associe aux racines en un rapport mutualiste. • En l'absence d'oxygène, les bactéries dénitrifiantes réduisent les nitrates dans les sols. • Du phosphore peut être ajouté au cycle du phosphore en épandant des engrais ou éliminé en récoltant les cultures agricoles. • Le taux de rotation dans le cycle du phosphore est bien moins important que dans le cycle de l'azote. • La disponibilité de phosphate pourrait devenir un futur facteur limitant en agriculture. • La lixiviation de nutriments minéraux des terres agricoles dans les rivières cause l'eutrophication et augmente la demande en oxygène biochimique. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les rotations des cultures permettent de renouveler les nutriments du sol en permettant à une zone de rester « en friche ».
<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : l'impact de l'engorgement des sols sur le cycle de l'azote. • Application : les plantes insectivores en tant qu'adaptation à la faible disponibilité d'azote dans les sols engorgés d'eau. • Compétence : la schématisation et l'annotation d'un diagramme du cycle de l'azote. • Compétence : l'évaluation de la teneur en nutriments d'un échantillon de sol. 	

Thèmes du tronc commun

Idée essentielle : un régime alimentaire équilibré est essentiel pour la santé humaine.

D.1 La nutrition humaine	
<p>Nature de la science</p> <p>La falsification des théories, une théorie étant remplacée par une autre : on pensait que le scorbut était spécifique à l'être humain parce que les tentatives d'induction des symptômes chez le rat et la souris de laboratoire n'avaient eu aucun succès. (1.9)</p>	<p>Sensibilité internationale</p> <ul style="list-style-type: none"> Le <i>Vitamin and Mineral Nutrition Information System (VMNIS)</i>, appelé auparavant le <i>Micronutrient Deficiency Information System (MIDIS)</i>, a été établi en 1991 à la suite d'une demande de l'Assemblée pour la santé mondiale, en vue de renforcer la surveillance des carences en micronutriments à l'échelle mondiale. <p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> L'exposition au soleil a des effets positifs, entre autres la production de vitamine D, mais elle implique également des risques pour la santé en raison de l'exposition aux rayons UV. Comment des assertions contradictoires peuvent-elles être équilibrées ? <p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires : Biologie Thème 6.1 La digestion et l'absorption Géographie 2^e partie – F. Géographie de l'alimentation et de la santé Chimie Thème B.5 Les vitamines</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Les nutriments essentiels ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme et il est donc nécessaire de les inclure dans le régime alimentaire. Les minéraux alimentaires sont des éléments chimiques essentiels. Les vitamines sont des composés carbonés chimiquement variés qui ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme. Certains acides gras et certains acides aminés sont essentiels. Le manque d'acides aminés essentiels affecte la production de protéines. La malnutrition peut être causée par une carence, un déséquilibre ou un excès de nutriments dans le régime alimentaire. L'appétit est contrôlé par un centre situé dans l'hypothalamus. Les individus en surcharge pondérale sont plus susceptibles de souffrir d'hypertension et de diabète de type II. L' inanition peut conduire à une dégradation des tissus corporels. 	

<p>D.1 La nutrition humaine</p>	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la production d'acide ascorbique par certains mammifères et non par d'autres, qui nécessitent un apport alimentaire. • Application : la cause et le traitement de la phénylcétonurie (PCU). • Application : la carence en vitamine D ou en calcium peut affecter la minéralisation des os et causer le rachitisme ou l'ostéomalacie. • Application : la dégradation du muscle cardiaque due à l'anorexie. • Application : le cholestérol dans le sang en tant qu'indicateur du risque de coronaropathie. • Compétence : la détermination par combustion de la teneur en énergie des aliments. • Compétence : l'utilisation de bases de données ayant trait à la teneur nutritionnelle des aliments et l'utilisation d'un logiciel pour calculer l'absorption des nutriments essentiels apportés par le régime alimentaire quotidien.
--	--

Idée essentielle : la digestion est contrôlée par des mécanismes nerveux et hormonaux.

D.2 La digestion	
<p>Nature de la science</p> <p>La sérendipité et les découvertes scientifiques : le rôle de l'acide gastrique dans la digestion a été établi par William Beaumont pendant qu'il observait le processus de la digestion dans une plaie ouverte causée par une arme à feu. (1,4)</p>	<p>Utilisation</p> <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 1.2 L'ultrastructure des cellules Thème 6.5 Les neurones et les synapses Chimie Option D.4 La régulation du pH gastrique</p>
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des mécanismes nerveux et hormonaux contrôlent la sécrétion des sucs gastriques. • Les glandes exocrines sécrètent à la surface du corps ou dans la lumière de l'intestin. • Le volume et le contenu des sécrétions gastriques sont contrôlés par des mécanismes nerveux et hormonaux. • Les conditions acides dans l'estomac favorisent certaines réactions d'hydrolyse et aident à contrôler les agents pathogènes dans les aliments ingérés. • La structure des cellules de l'épithélium des villosités est adaptée à l'absorption des aliments. • Le taux de transit des substances le long du gros intestin est positivement corrélé à leur teneur en fibres alimentaires. • Les substances non absorbées sont évacuées. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : la réduction de la sécrétion d'acide gastrique par les médicaments inhibiteurs de la pompe à protons. • Application : la déshydratation causée par la toxine du choléra. 	

D.2 La digestion	<ul style="list-style-type: none">• Application : l'infection à <i>Helicobacter pylori</i> en tant que cause des ulcères gastriques.• Compétence : l'identification sur des photographies prises au microscope électronique de cellules des glandes exocrines qui sécrètent des sucs digestifs et des cellules de l'épithélium des villosités qui absorbent les aliments digérés. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Les adaptations des cellules de l'épithélium des villosités incluent les microvillosités et les mitochondries.
-------------------------	--

Idée essentielle : la composition chimique du sang est régulée par le foie.

D.3 Les fonctions du foie	
<p>Nature de la science</p> <p>L'éducation du public en matière d'assertions scientifiques : les études scientifiques ont montré que les lipoprotéines de haute densité peuvent être considérées comme du « bon » cholestérol. (5.2)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> La consommation excessive d'alcool peut provoquer une cirrhose du foie. Les attitudes envers les drogues et l'alcool sont-elles un exemple de quelque chose qui est spécifique de la culture ? Toutes les connaissances dépendent-elles de la culture ? <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectif global 6 : des lames fraîches d'hépatocytes peuvent être préparées à partir de foie frais. Objectif global 8 : étant donné la pression exercée pour ce qui est des ressources de santé, en particulier en ce qui concerne la disponibilité d'organes à greffer, devrions-nous accepter qu'un alcoolique reçoive une greffe de foie ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> Le foie élimine les toxines dans le sang et les détoxifie. Les composants des globules rouges sont recyclés par le foie. La dégradation des érythrocytes commence par la phagocytose des globules rouges par les cellules de Kupffer. Le fer est apporté à la moelle osseuse pour produire de l'hémoglobine dans les nouveaux globules rouges. Le surplus de cholestérol est converti en sels biliaires. Le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi dans les hépatocytes produisent des protéines plasmatiques. Le foie intercepte le sang provenant du tube digestif en vue de réguler les taux de nutriments. Certains excès de nutriments peuvent être stockés dans le foie. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Application : les causes et les conséquences de la jaunisse. Application : le double apport sanguin au foie et les différences entre les sinusoides et les capillaires. 	

Idée essentielle : des facteurs internes et externes influent sur la fonction cardiaque.

D.4 Le cœur	
<p>Nature de la science</p> <p>Les développements en recherche scientifique ont succédé aux améliorations des appareils ou des instruments. L'invention du stéthoscope a amélioré les connaissances sur le fonctionnement du cœur. (1.8)</p>	<p>Théorie de la connaissance</p> <ul style="list-style-type: none"> Les symboles servent de forme de communication non verbale. Pourquoi le cœur sert-il de symbole représentant l'amour ? Quelle importance ont les symboles dans les divers domaines de la connaissance ?
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> La structure des cellules du muscle cardiaque permet la propagation des stimuli dans la paroi cardiaque. Les signaux reçus du nœud sino-auriculaire qui causent la contraction ne peuvent pas directement passer des oreillettes aux ventricules. Il se produit un délai entre l'arrivée et la transmission d'un stimulus au nœud auriculo-ventriculaire. Ce délai permet à la systole auriculaire de se produire avant que les valvules auriculo-ventriculaires ne se ferment. Les fibres conductrices assurent la contraction coordonnée de toute la paroi ventriculaire. Les bruits normaux du cœur sont causés par la fermeture des valvules auriculo-ventriculaires et des valvules semi-lunaires, modifiant ainsi le flux sanguin. 	<p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> Applications : l'utilisation de stimulateurs cardiaques artificiels pour réguler la fréquence cardiaque. Application : l'utilisation de la défibrillation pour traiter les problèmes cardiaques qui mettent la vie en danger. Application : les causes et les conséquences de l'hypertension et de la thrombose.

D.4 Le cœur	<ul style="list-style-type: none"> • Compétence : la mesure et l'interprétation de la fréquence cardiaque dans des conditions diverses. • Compétence : l'interprétation des mesures de la pression sanguine systolique et diastolique. • Compétence : la cartographie du cycle cardiaque sous la forme d'un tracé normal d'un électrocardiogramme (ECG). • Compétence : l'analyse de données épidémiologiques ayant trait à l'incidence de la coronaropathie. <p>Directives et informations supplémentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inclure les ramifications et les disques intercalaires dans la structure du muscle cardiaque.
--------------------	--

Thèmes du module complémentaire du niveau supérieur

Idée essentielle : les hormones ne sont pas sécrétées à une cadence uniforme et elles exercent leur effet à faibles concentrations.

D.5 Les hormones et le métabolisme

Nature de la science

La coopération et la collaboration entre groupes de scientifiques : le Conseil international pour le contrôle des troubles de la carence en iode inclut un certain nombre de scientifiques qui travaillent pour éliminer le mal causé par la carence en iode. (4.3)

Notions clés

- Les glandes endocrines sécrètent des hormones directement dans la circulation sanguine.
- Les hormones stéroïdes se lient aux protéines réceptrices dans le cytoplasme de la cellule cible pour former un complexe récepteur-hormone.
- Le complexe récepteur-hormone permet la transcription de gènes spécifiques.
- Les hormones peptidiques se lient aux récepteurs dans la membrane plasmique de la cellule cible.
- La liaison des hormones aux récepteurs membranaires active une cascade par l'intermédiaire d'un second messager à l'intérieur de la cellule.
- L'hypothalamus contrôle la sécrétion d'hormones par les lobes antérieur et postérieur de l'hypophyse.
- Les hormones sécrétées par l'hypophyse contrôlent la croissance, les changements dans le développement, la reproduction et l'homéostasie.

Applications et compétences

- Applications : certains athlètes prennent des hormones de croissance pour développer les muscles.
- Applications : le contrôle de la sécrétion de lait par l'ocytocine et la prolactine.

Objectifs globaux

- **Objectif global 8 :** il existe de nombreuses drogues qui peuvent améliorer la performance. L'utilisation de ces drogues est-elle acceptable en ce qui concerne la réalisation d'un test équitable, à condition que tous les athlètes puissent y accéder de manière égale ?

Idée essentielle : les globules rouges jouent un rôle crucial dans le transport des gaz respiratoires.

D.6 Le transport des gaz respiratoires	
<p>Nature de la science</p> <p>Les scientifiques ont un rôle dans l'information du public : la recherche scientifique a apporté un changement dans la perception du tabagisme par le public. (5.1)</p>	
<p>Notions clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les courbes de dissociation de l'oxygène montrent l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène. • Le dioxyde de carbone est dissous et lié à l'hémoglobine lors de son transport dans le sang. • Le dioxyde de carbone est transformé en ions hydrogénocarbonate dans les globules rouges. • L'effet de Bohr explique la libération accrue d'oxygène par l'hémoglobine dans les tissus qui respirent. • Les chimiorécepteurs sont sensibles aux variations du pH du sang. • La fréquence ventilatoire est contrôlée par le centre de contrôle de la respiration situé dans le bulbe rachidien. • Durant l'exercice physique, la fréquence ventilatoire varie en réponse à la quantité de CO₂ dans le sang. • L'hémoglobine fœtale diffère de l'hémoglobine de l'adulte, ce qui permet à l'oxygène du placenta de passer dans l'hémoglobine du fœtus. <p>Applications et compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application : les conséquences des hautes altitudes pour les échanges gazeux. • Application : le pH du sang est régulé afin qu'il demeure dans la gamme étroite comprise entre 7,35 et 7,45. • Application : les causes et les traitements de l'emphysème. 	<p>Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les camps d'entraînement pour athlètes sont souvent situés à haute altitude afin d'augmenter la teneur du sang en hémoglobine. Cela présente alors un avantage pour l'athlète lorsqu'il participe à des compétitions qui se déroulent à plus basse altitude. <p>Liens avec d'autres parties du programme et liens transdisciplinaires :</p> <p>Biologie Thème 6.4 Les échanges gazeux Physique Thème 3.2 Modélisation d'un gaz</p> <p>Objectifs globaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objectif global 8 : certains sports, comme l'escalade en haute montagne et la plongée sous-marine, peuvent pousser le corps humain au-delà des limites d'endurance et provoquer des lésions. Devraient-ils être contrôlés ou interdits ?

<p>D.6 Le transport des gaz respiratoires</p>	<ul style="list-style-type: none">• Compétence : l'analyse des courbes de dissociation de l'hémoglobine et la myoglobine.• Compétence : l'identification des pneumocytes, des cellules de l'endothélium capillaire et des globules sanguins sur des photographies prises au microscope optique et au microscope électronique de tissus pulmonaires.
--	--

L'évaluation dans le Programme du diplôme

Généralités

L'évaluation fait partie intégrante de l'enseignement et de l'apprentissage. Dans le Programme du diplôme, elle a avant tout pour but de soutenir les objectifs pédagogiques fixés et de favoriser chez les élèves un bon apprentissage. L'évaluation externe et l'évaluation interne sont toutes deux utilisées dans le Programme du diplôme. Les examinateurs de l'IB notent ainsi les travaux dans le cadre de l'évaluation externe, tandis que les travaux destinés à l'évaluation interne sont notés par les enseignants, avant de faire l'objet d'une révision de notation externe par l'IB.

Deux types d'évaluation sont réalisés par l'IB.

- L'évaluation formative oriente l'enseignement et l'apprentissage. Elle fournit aux élèves et aux enseignants des commentaires utiles et précis, d'une part, sur le type d'apprentissage mis en œuvre et, d'autre part, sur la nature des points forts et des points faibles des élèves, afin de développer la compréhension et les compétences de ces derniers. L'évaluation formative peut également contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement car elle peut fournir des informations permettant de mesurer les progrès réalisés pour atteindre les objectifs du cours.
- L'évaluation sommative donne une vue d'ensemble des connaissances acquises avant le cours et permet d'évaluer les progrès des élèves.

Dans le Programme du diplôme, l'évaluation est essentiellement de nature sommative et est utilisée, afin de mesurer les progrès des élèves à la fin ou vers la fin du cours. Toutefois, de nombreux outils d'évaluation du cours peuvent également être utilisés de manière formative pendant la période d'enseignement et d'apprentissage ; cette pratique est même vivement recommandée. Un plan d'évaluation complet doit faire partie intégrante de l'apprentissage, de l'enseignement et de l'organisation du cours. De plus amples renseignements sont fournis dans le document de l'IB intitulé *Normes de mise en œuvre des programmes et applications concrètes* (2010).

Le mode d'évaluation utilisé par l'IB est critérié et non pas normatif. Ce mode d'évaluation juge donc le travail des élèves par rapport à des critères d'évaluation définis et non par rapport au travail des autres élèves. L'ouvrage *Principes et pratiques d'évaluation au Programme du diplôme* (2009) contient de plus amples renseignements sur l'évaluation dans le cadre du Programme du diplôme.

Afin d'aider les enseignants dans la planification, l'enseignement et l'évaluation des matières du Programme du diplôme, des ressources variées sont mises à leur disposition sur le CPEL ou en vente sur le site du magasin de l'IB (<http://store.ibo.org>). Des ressources supplémentaires telles que du matériel de soutien pédagogique, des rapports pédagogiques, des instructions concernant l'évaluation interne, des descripteurs de notes finales ainsi que des ressources partagées par d'autres enseignants se trouvent sur le CPEL. Par ailleurs, des épreuves de sessions précédentes ainsi que des barèmes de notation sont en vente sur le site du magasin de l'IB.

Méthodes d'évaluation

L'IB utilise différentes méthodes pour évaluer les travaux des élèves.

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont utilisés lorsque la tâche d'évaluation est dite « ouverte ». Chaque critère se concentre sur une compétence particulière que les élèves sont censés démontrer. Ainsi, si un objectif d'évaluation décrit ce que les élèves doivent être capables de faire, les critères d'évaluation décrivent de quelle manière et à quel niveau ils doivent le faire. L'utilisation des critères permet d'évaluer des réponses différentes et encourage leur variété. Chaque critère d'évaluation est composé d'un ensemble de descripteurs de niveaux classés par ordre hiérarchique. Chaque descripteur de niveaux équivaut à un ou plusieurs points. Chaque critère est utilisé indépendamment en suivant un modèle qui consiste à trouver le descripteur qui résume le mieux le niveau atteint (approche dite de meilleur ajustement). Le total des points attribuables peut varier d'un critère à l'autre selon leur importance. Les points ainsi attribués pour chaque critère sont ensuite additionnés pour arriver à la note totale du travail évalué.

Bandes de notation

Les bandes de notation expliquent en détail les niveaux d'accomplissements attendus par rapport auxquels les travaux sont évalués. Ce sont des descripteurs de niveaux qui, ensemble, forment un critère global. À chaque descripteur de niveaux correspond une gamme de notes, ce qui permet de différencier les accomplissements des élèves. L'approche dite de meilleur ajustement est utilisée afin de déterminer quelle note en particulier doit être choisie parmi la gamme de notes proposées pour chaque descripteur de niveaux.

Barèmes de notation analytiques

Les barèmes de notation analytiques sont conçus pour les questions d'examen pour lesquelles un certain type de réponse ou une réponse spécifique sont attendus des élèves. Ces barèmes donnent aux examinateurs des instructions détaillées sur la manière de décomposer le total des points correspondant à chaque question pour noter différentes parties de la réponse.

Remarques à propos de la notation

Des remarques concernant la notation sont fournies pour certaines composantes d'évaluation notées selon des critères d'évaluation. Elles donnent des orientations sur la manière dont les critères d'évaluation s'appliquent aux exigences particulières d'une question.

Aménagements de la procédure d'évaluation à des fins d'inclusion

Des aménagements de la procédure d'évaluation peuvent être faits à des fins d'inclusion pour les candidats qui en ont besoin. Ces aménagements permettent à ces candidats d'avoir accès aux examens et de démontrer leur connaissance et leur compréhension des concepts évalués.

Le document de l'IB intitulé *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* fournit des informations détaillées sur les aménagements de la procédure d'évaluation qui peuvent être faits à des fins d'inclusion pour les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage. Le document de l'IB intitulé *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International* présente la position de l'IB en ce qui concerne les

candidats ayant des besoins d'apprentissage divers au sein des programmes de l'IB. Le *Manuel de procédures pour le Programme du diplôme* et le document de l'IB intitulé *Règlement général du Programme du diplôme* (2011) contiennent des informations détaillées sur les aménagements pour les candidats affectés par des circonstances défavorables.

Responsabilités de l'établissement

Les établissements doivent s'assurer que les candidats ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage bénéficient d'aménagements raisonnables leur garantissant l'égalité de l'accès aux programmes de l'IB, conformément aux documents de l'IB intitulés *Candidats ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation* et *La diversité d'apprentissage et les besoins éducationnels spéciaux dans les programmes du Baccalauréat International*.

Résumé de l'évaluation – NM

Première évaluation en 2016

Composante	Pondération totale (%)	Pondération approximative des objectifs d'évaluation (%)		Durée
		1 + 2	3	
Épreuve 1	20	10	10	45 minutes
Épreuve 2	40	20	20	1h15
Épreuve 3	20	10	10	1h
Évaluation interne	20	Tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4		10h

Résumé de l'évaluation – NS

Première évaluation en 2016

Composante	Pondération totale (%)	Pondération approximative des objectifs d'évaluation (%)		Durée
		1 + 2	3	
Épreuve 1	20	10	10	1h
Épreuve 2	36	18	18	2h15
Épreuve 3	24	12	12	1h15
Évaluation interne	20	Tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4		10h

Évaluation externe

L'évaluation des tâches réalisées par les élèves est effectuée à l'aide de barèmes de notation détaillés spécifiques à chaque épreuve d'examen.

Description détaillée de l'évaluation externe – NM

Épreuve 1

Durée : 45 minutes

Pondération : 20 %

Nombre de points : 30

- L'épreuve 1 comporte 30 questions à choix multiple portant sur le tronc commun, parmi lesquelles 15 questions environ sont également utilisées au NS.
- Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont interdites.
- Un tableau de la classification périodique des éléments est fourni aux élèves.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 2

Durée : 1 heure 15

Pondération : 40 %

Nombre de points : 50

- L'épreuve 2 est composée d'une question basée sur des données.
- L'épreuve 2 comporte des questions à réponse brève et des questions à réponse développée portant sur le tronc commun.
- Les candidats doivent tenter de répondre à l'une des deux questions à réponse développée.
- Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).

Épreuve 3

Durée : 1 heure

Pondération : 20 %

Nombre de points : 35

- L'épreuve 3 comporte des questions sur le tronc commun et l'option du NM.
- Section A : les candidats doivent répondre à toutes les questions : deux à trois questions à réponse brève reposant sur les compétences et les techniques expérimentales, l'analyse et l'évaluation, en utilisant des données jamais vues auparavant ayant trait au tronc commun de la matière.
- Section B : questions à réponse brève et questions à réponse développée sur l'option.
- Les questions de l'épreuve 3 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).

Description détaillée de l'évaluation externe – NS

Épreuve 1

Durée : 1 heure

Pondération : 20 %

Nombre de points : 40

- L'épreuve 1 comporte 40 questions à choix multiple portant sur le tronc commun et le MCNS, parmi lesquelles 15 questions environ sont également utilisées au NM.
- Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont interdites.
- Un tableau de la classification périodique des éléments est fourni aux élèves.
- Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 2

Durée : 2 heures 15

Pondération : 36 %

Nombre de points : 72

- L'épreuve 2 est composée d'une question basée sur des données.
- L'épreuve 2 comporte des questions à réponse brève et des questions à réponse développée portant sur le tronc commun et le MCNS.
- Les candidats doivent tenter de répondre à deux des trois questions à réponse développée.
- Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).

Épreuve 3

Durée : 1 heure 15

Pondération : 24 %

Nombre de points : 45

- Section A : les candidats doivent répondre à toutes les questions : deux à trois questions à réponse brève reposant sur les compétences et les techniques expérimentales, l'analyse et l'évaluation, en utilisant des données jamais vues auparavant ayant trait au tronc commun et au MCNS de la matière.
- Section B : questions à réponse brève et questions à réponse développée sur l'option.
- Les questions de l'épreuve 3 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.
- Les calculatrices sont autorisées (voir la page consacrée aux calculatrices sur le CPEL).

Évaluation interne

But de l'évaluation interne

L'évaluation interne fait partie intégrante du cours et elle est obligatoire pour les élèves du NM et du NS. Elle leur permet de montrer leurs compétences et leurs connaissances, et d'approfondir des sujets qui les intéressent, sans les contraintes de temps et les restrictions associées aux épreuves écrites. L'évaluation interne doit, dans la mesure du possible, faire partie de l'enseignement en classe et ne doit pas être une activité séparée menée à la fin du programme d'études.

Les exigences de l'évaluation interne au NM et au NS sont identiques. Cette section du guide doit être lue en parallèle avec la section consacrée à l'évaluation interne dans le matériel de soutien pédagogique.

Direction des travaux et authenticité

Tout travail soumis à l'évaluation interne doit être le fruit du travail personnel de l'élève. Cela ne signifie pas pour autant que les élèves doivent décider d'un titre ou d'un sujet, puis être livrés à eux-mêmes, sans soutien de la part de l'enseignant pour effectuer leur travail. L'enseignant doit jouer un rôle important, tant durant l'étape de planification du travail que durant l'exécution du travail soumis à l'évaluation interne. Il lui incombe de s'assurer que les élèves connaissent :

- les exigences concernant le type de travail qui sera soumis à l'évaluation interne ;
- la politique de l'IB en matière d'expérimentation animale et les directives de sécurité spécifiques au cours de biologie ;
- les critères d'évaluation. Les élèves doivent comprendre que le travail qu'ils remettront doit bien tenir compte de ces critères.

Les enseignants et les élèves doivent discuter ensemble des travaux évalués en interne. Les élèves doivent être incités à entamer des discussions avec l'enseignant pour obtenir des conseils et des informations, et ils ne doivent pas être pénalisés pour cela. Dans le cadre du processus d'apprentissage, les enseignants doivent donner des conseils aux élèves sur un brouillon du travail qu'ils auront lu au préalable. Ces conseils prodigués oralement ou par écrit doivent guider les élèves sur la façon dont ils peuvent améliorer leur travail. Toutefois, les enseignants ne doivent pas modifier le brouillon. La version rendue par la suite aux enseignants devra être la version finale soumise à l'évaluation.

Les enseignants sont chargés de s'assurer que tous leurs élèves comprennent la signification et l'importance fondamentales des concepts liés à l'intégrité en milieu scolaire, et plus particulièrement des concepts d'authenticité et de propriété intellectuelle. Ils doivent vérifier que tous les travaux que les élèves remettent pour l'évaluation ont été effectués conformément aux exigences et doivent expliquer clairement aux élèves que ces travaux doivent être entièrement les leurs. Dans les cas où la collaboration entre élèves est autorisée, il est impératif que tous les élèves comprennent bien la différence entre collaboration et collusion.

Les enseignants doivent authentifier tout travail à l'IB pour révision de notation ou évaluation. Ils ne doivent pas envoyer de travaux qui, à leur connaissance, constituent des cas de mauvaise conduite présumée ou confirmée. Chaque élève doit confirmer que son travail est authentique et qu'il s'agit de la version finale. Une fois qu'un élève a remis la version finale de son travail de manière officielle, il ne peut plus faire marche

arrière. L'exigence selon laquelle l'authenticité des travaux doit être confirmée s'applique aux travaux de tous les élèves, et non pas uniquement aux échantillons de travaux soumis à l'IB pour la révision de notation. Pour obtenir de plus amples informations, veuillez consulter les publications de l'IB intitulées *Intégrité en milieu scolaire* (2011), *Le Programme du diplôme : des principes à la pratique* (2009), ainsi que les articles pertinents du document *Règlement général du Programme du diplôme* (2011).

L'authenticité du travail peut être vérifiée en discutant avec l'élève du contenu de son travail et en examinant en détail un ou plusieurs des éléments suivants :

- le projet initial de l'élève ;
- le premier brouillon du travail écrit ;
- les références bibliographiques ;
- le style d'écriture, en comparaison avec d'autres travaux de l'élève ;
- une analyse du travail réalisée par le biais d'un service en ligne spécialisé dans la détection du plagiat, tel que <http://turnitin.com/fr/home>.

Un même travail ne peut être remis pour satisfaire aux exigences de l'évaluation interne et du mémoire.

Travail en groupe

Chaque recherche doit être un travail individuel fondé sur différentes données ou mesures. Idéalement, les élèves doivent travailler seuls lorsqu'ils recueillent les données. Dans certains cas, les données recueillies ou les mesures prises peuvent provenir d'une expérience réalisée en groupe, à condition que chaque élève ait recueilli ses propres données ou pris ses propres mesures. En biologie, il arrive parfois que les données ou mesures provenant d'un travail en groupe soient combinées afin que les élèves puissent disposer de données en quantité suffisante pour effectuer leur analyse individuelle. Même dans ce cas, chaque élève doit avoir recueilli et consigné ses propres données, et il doit clairement indiquer les données qui sont les siennes.

Il doit être clairement indiqué aux élèves que tout travail en rapport avec leur recherche doit être le fruit de leur travail personnel. Il est donc utile que les enseignants encouragent les élèves à se comporter en apprenants responsables, afin qu'ils s'approprient leur travail et puissent en être fiers.

Volume horaire

L'évaluation interne fait partie intégrale du cours de biologie ; elle correspond à 20 % de l'évaluation finale au NM et au NS. Cette pondération doit se refléter dans le temps alloué à l'enseignement des connaissances, des compétences et de la compréhension requises pour cette composante, de même que dans le temps total alloué pour effectuer le travail requis.

Il est recommandé d'attribuer à cette composante un total d'environ 10 heures au NM et au NS. Ce volume horaire doit comprendre :

- le temps nécessaire à l'enseignant pour expliquer aux élèves les exigences en matière d'évaluation interne ;
- les heures de cours nécessaires pour permettre aux élèves de travailler sur la composante de l'évaluation interne et poser des questions ;
- le temps nécessaire à chaque élève pour consulter son enseignant ;
- le temps nécessaire pour mesurer les progrès effectués et vérifier l'authenticité du travail.

Exigences et recommandations en matière de sécurité

Si les enseignants sont tenus de respecter des directives locales ou nationales pouvant varier d'un pays à l'autre, ils doivent également prêter attention aux recommandations qui ont été élaborées pour la Fédération internationale des associations de professeurs de sciences par le Laboratory Safety Institute (LSI). Une traduction libre de ces recommandations est fournie ci-après.

Toutes les parties prenantes ont la responsabilité fondamentale de faire de la sécurité et de la santé un souci permanent. Les conseils prodigués devront tenir compte du besoin de respecter le contexte local, les diverses traditions éducationnelles et culturelles, les contraintes financières et les systèmes juridiques des différents pays.

The Laboratory Safety Institute

Directives de sécurité au laboratoire

40 recommandations pour un laboratoire plus sûr

Mesures demandant des dépenses minimales

1. Avoir un document écrit présentant la politique en matière de santé, de sécurité et d'environnement.
2. Former un comité départemental composé d'employés, de membres de la direction, de membres du corps enseignant, de membres du personnel et d'élèves, qui se réunira régulièrement pour discuter de questions liées à la santé, à la sécurité et à l'environnement.
3. Élaborer un programme de formation axé sur la santé, la sécurité et l'environnement pour tous les nouveaux employés et élèves.
4. Encourager les employés et les élèves à se préoccuper de leur santé et de leur sécurité et de celles des autres.
5. Impliquer chaque employé et élève dans certains aspects du programme de sécurité et donner à chacun des responsabilités spécifiques.
6. Récompenser les employés et les élèves pour leur performance dans le domaine de la sécurité.
7. Exiger de tous les employés qu'ils lisent le manuel de sécurité approprié. Exiger des élèves qu'ils lisent les règles de sécurité du laboratoire de l'établissement. Faire signer aux deux groupes une déclaration attestant qu'ils en ont bien pris connaissance, qu'ils les ont comprises, et qu'ils acceptent de suivre les procédures et de respecter ces pratiques. Conserver ces déclarations dans un dossier dans le bureau du département.
8. Faire des inspections périodiques et inopinées du laboratoire pour déceler les conditions et les pratiques dangereuses et y remédier. Faire participer les élèves et les employés à des inspections semblables à celles de l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA, un organisme gouvernemental américain chargé de la sécurité et de la santé au travail).
9. Faire de l'apprentissage de la sécurité une partie intégrante du cours de science, du travail et de la vie.
10. Organiser régulièrement des réunions départementales de sécurité pour tous les élèves et les employés afin qu'ils puissent discuter des résultats des inspections et de certains aspects de la sécurité au laboratoire.
11. Lorsque des expériences dangereuses ou potentiellement dangereuses sont réalisées, se poser les questions suivantes :
 - Quels sont les risques ?
 - Quelle est la pire chose qui pourrait arriver ?

- Comment réagir face à ces dangers ?
 - Quelles sont les mesures de prudence à adopter et quel est l'équipement de protection nécessaire pour minimiser l'exposition aux risques ?
12. Exiger que tous les accidents (incidents) soient signalés, évalués par le comité départemental de sécurité et abordés lors des réunions départementales de sécurité.
 13. Exiger que chaque discussion précédant un travail en laboratoire ou une expérience prenne en considération les aspects liés à la santé et à la sécurité.
 14. Ne jamais laisser une expérience en cours sans surveillance, à moins qu'elle ne présente aucun danger.
 15. Interdire de travailler seul dans un laboratoire ou d'y travailler sans avoir au préalable informé un membre du personnel.
 16. Étendre le programme de sécurité du laboratoire à l'automobile et à la maison.
 17. Ne permettre le stockage que de petites quantités de liquides inflammables dans chaque laboratoire.
 18. Interdire de fumer, de manger et de boire dans le laboratoire.
 19. Interdire de conserver de la nourriture dans les réfrigérateurs où sont stockés des produits chimiques.
 20. Élaborer des plans et des exercices d'entraînement pour faire face aux urgences telles que les incendies, les explosions, les empoisonnements, les déversements de produits chimiques ou les émissions de vapeurs, les électrocutions, les hémorragies et les contaminations individuelles.
 21. Exiger de bonnes pratiques de nettoyage et d'entretien dans tous les espaces de travail.
 22. Afficher les numéros de téléphone du service de lutte contre les incendies, des services de police et des services d'ambulances locaux sur ou à proximité de chaque téléphone.
 23. Stocker les acides et les bases séparément. Stocker les combustibles et les oxydants séparément.
 24. Faire un inventaire des produits chimiques, afin d'éviter les achats de quantités superflues.
 25. Utiliser des panneaux d'avertissement pour signaler les risques.
 26. Élaborer des pratiques de travail spécifiques pour toutes les expériences, telles que celles qui doivent être faites uniquement sous hotte aspirante ou qui nécessitent d'utiliser des produits particulièrement dangereux. Dans la mesure du possible, les expériences les plus dangereuses doivent être faites sous hotte.

Mesures demandant des dépenses modérées

27. Allouer une partie du budget du département à la sécurité.
28. Exiger l'utilisation de lunettes de protection appropriées en tout temps, et ce, dans les laboratoires et les zones où sont transportés des produits chimiques.
29. Fournir un équipement de protection individuel adéquat (lunettes à branches, lunettes-masques, écrans faciaux, gants, blouses blanches et écrans de protection pour paillasses).
30. Pourvoir chaque laboratoire d'extincteurs, de douches de sécurité, de douches oculaires, de trousseaux de premiers secours, de couvertures anti-feu et de hottes aspirantes, et tester ou vérifier cet équipement chaque mois.
31. Installer des protections sur toutes les pompes à vide et attacher solidement toutes les bouteilles de gaz.
32. Fournir du matériel de premier secours en quantité suffisante et des instructions pour son utilisation correcte.
33. Fournir des armoires ignifuges pour le stockage des produits chimiques inflammables.

34. Au centre du département, constituer une bibliothèque contenant les manuels de sécurité suivants.
- *Safety in School Science Labs*, Clair Wood, 1994, Kaufman & Associates, 101 Oak Street, Wellesley, MA 02482
 - *The Laboratory Safety Pocket Guide*, 1996, Genium Publisher, One Genium Plaza, Schenectady, NY
 - *Safety in Academic Chemistry Laboratories*, ACS, 1155 Sixteenth Street NW, Washington, DC 20036
 - *Manual of Safety and Health Hazards in The School Science Laboratory, Safety in the School Science Laboratory, School Science Laboratories: A guide to Some Hazardous Substances*, Council of State Science Supervisors (maintenant disponibles en anglais auprès du LSI)
 - *Handbook of Laboratory Safety*, 4^e édition, CRC Press, 2000 Corporate Boulevard NW, Boca Raton, FL 33431
 - *Fire Protection Guide on Hazardous Materials*, National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269
 - *Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Hazardous Chemicals*, 2^e édition, 1995
 - *Biosafety in the Laboratory*, National Academy Press, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418
 - *Learning By Accident*, Volumes 1 – 3, 1997–2000, The Laboratory Safety Institute, Natick, MA 01760
- (Tous ces manuels sont disponibles en anglais auprès du **LSI**.)
35. Retirer toutes les connexions électriques à l'intérieur des réfrigérateurs réservés aux produits chimiques et exiger des fermetures magnétiques.
36. Exiger des prises de terre sur tous les appareils électriques et installer des disjoncteurs différentiels si nécessaire.
37. Étiqueter tous les produits chimiques en indiquant le nom du produit, la nature et le degré du risque, les précautions à prendre et le nom de la personne responsable du contenant.
38. Élaborer un programme pour la datation des produits chimiques stockés et leur nouvelle certification ou leur destruction après la période de stockage maximale déterminée.
39. Élaborer un système d'élimination des déchets chimiques qui soit légal, sûr et écologique.
40. Stocker les produits chimiques dans des endroits sûrs, suffisamment espacés et bien ventilés.



Utilisation des critères d'évaluation interne

L'évaluation interne se base sur un certain nombre de critères. Chaque critère d'évaluation comprend des descripteurs définissant des niveaux d'accomplissements spécifiques auxquels correspond une gamme de notes. Bien que les descripteurs de niveaux portent sur les aspects positifs du travail, la notion d'échec peut être incluse dans la description.

Les enseignants doivent évaluer les travaux remis pour l'évaluation interne au NS et au NM à l'aide des critères d'évaluation, en utilisant les descripteurs de niveaux.

- Les critères d'évaluation sont identiques pour le NM et le NS.
- Le but consiste à trouver, pour chaque critère, le descripteur qui correspond le mieux au niveau du travail à l'aide du modèle de meilleur ajustement. Ce modèle consiste à effectuer un ajustement, lorsqu'un travail présente des aspects du critère à des niveaux différents. La note attribuée doit refléter le plus possible l'accomplissement dans son ensemble par rapport au critère. Il n'est pas nécessaire que tous les aspects du descripteur de niveaux soient présents pour que la ou les notes correspondantes soient attribuées.
- Lorsqu'ils évaluent le travail d'un élève, les enseignants doivent, pour chaque critère, lire les descripteurs de niveaux jusqu'à ce qu'ils atteignent celui qui décrit le mieux le travail évalué. Si un travail semble se situer entre deux descripteurs, l'enseignant doit les relire et choisir celui qui est le plus approprié au travail de l'élève.
- Lorsqu'un niveau contient une gamme de notes, l'enseignant doit donner les notes les plus élevées si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une large mesure ; la qualité du travail est alors très proche du niveau supérieur. L'enseignant doit donner les notes les plus basses si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une moindre mesure ; la qualité du travail est alors très proche du niveau inférieur.
- Seuls les nombres entiers seront retenus. Les notes partielles, c'est-à-dire les fractions et les décimales, ne sont pas acceptées.
- Les enseignants ne doivent pas penser en termes de réussite ou d'échec, mais plutôt chercher à déterminer le descripteur adéquat pour chaque critère d'évaluation.
- Les descripteurs les plus élevés ne correspondent pas nécessairement à un travail parfait et doivent être à la portée des élèves. Les enseignants ne doivent pas hésiter à choisir les extrêmes s'ils décrivent adéquatement le niveau du travail évalué.
- Un élève qui a atteint un niveau élevé pour un critère donné n'atteindra pas nécessairement un niveau élevé pour les autres critères. De même, l'atteinte d'un niveau bas pour un critère donné n'implique pas nécessairement que le travail atteindra un niveau bas pour les autres critères. Les enseignants ne doivent pas s'attendre à voir l'évaluation de l'ensemble des élèves suivre une distribution particulière des notes.
- Il est recommandé de mettre les critères d'évaluation à la disposition des élèves.

Travaux pratiques et évaluation interne

Introduction générale

Les exigences de l'évaluation interne sont les mêmes pour la biologie, la chimie et la physique. L'évaluation interne compte pour 20 % de l'évaluation finale et consiste en une recherche individuelle. Cette recherche scientifique doit porter sur un thème adapté au niveau du programme.

Les recherches des élèves sont évaluées en interne par leur enseignant puis soumises à une révision de notation externe effectuée par l'IB. Au NM et au NS, les recherches sont notées à l'aide de critères d'évaluation communs et chaque élève obtient une note totale sur 24 points.

Remarque : toute recherche utilisée pour l'évaluation des élèves doit être spécifiquement conçue pour correspondre aux critères d'évaluation.

La tâche d'évaluation interne est une recherche individuelle prenant environ 10 heures et le rapport de recherche doit comprendre entre 6 et 12 pages. Les élèves qui dépassent ce nombre limite de pages seront pénalisés dans le critère *communication* en raison de leur manque de concision.

De par sa nature pratique et l'utilisation de critères d'évaluation généraux, la recherche individuelle permet aux élèves de faire leur choix parmi un large éventail d'activités pratiques satisfaisant aux diverses exigences des cours de biologie, de chimie et de physique. Elle permet également aux élèves de faire preuve de plusieurs des qualités du profil de l'apprenant de l'IB (voir les autres liens dans la section « Manières d'aborder l'enseignement et l'apprentissage de la biologie »).

La recherche individuelle doit être une tâche complexe dont le niveau correspond à celui du cours. Les élèves doivent formuler une question de recherche réfléchie et fournir une justification scientifique. Le matériel de soutien pédagogique comprend des exemples de travaux d'élèves évalués qui montrent la rigueur de l'évaluation, dont le niveau n'a pas changé par rapport à l'ancien cours.

Quelques exemples de tâches possibles sont fournis ci-dessous.

- Recherche pratique en laboratoire
- Utilisation d'un tableur pour l'analyse et la modélisation
- Extraction de données d'une base de données et analyse graphique de ces données
- Utilisation d'un tableur ou d'une base de données associée à une recherche pratique traditionnelle
- Utilisation d'une simulation, à condition qu'elle soit interactive et ouverte

Certaines tâches peuvent comprendre des travaux qualitatifs pertinents et adéquats associés à des travaux quantitatifs.

Comme dans le cours précédent, la tâche d'évaluation interne peut prendre la forme d'une recherche pratique traditionnelle. La profondeur de traitement requise pour les recherches pratiques traditionnelles reste identique à celle qui était requise pour la composante d'évaluation interne de l'ancien cours et elle est expliquée en détail dans le matériel de soutien pédagogique. En outre, certains aspects spécifiques des travaux pratiques feront l'objet d'une évaluation dans le cadre des épreuves écrites, tel qu'indiqué dans les thèmes pertinents (voir la section « Contenu du programme »).

Les mêmes critères d'évaluation seront appliqués à la tâche au NM et au NS. Ces cinq critères sont : *investissement personnel, exploration, analyse, évaluation et communication*.

Description détaillée de l'évaluation interne

Composante d'évaluation interne

Durée : 10 heures

Pondération : 20 %

- Recherche individuelle
- Cette recherche tient compte des objectifs d'évaluation 1, 2, 3 et 4.

Critères d'évaluation interne

Le nouveau modèle d'évaluation comprend cinq critères pour l'évaluation du rapport de recherche produit dans le cadre de la recherche individuelle. Le nombre de points et la pondération pour chaque critère sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Investissement personnel	Exploration	Analyse	Évaluation	Communication	Total
2 (8 %)	6 (25 %)	6 (25 %)	6 (25 %)	4 (17 %)	24 (100 %)

Les niveaux d'accomplissement sont décrits à l'aide de plusieurs indicateurs dans chaque niveau. Dans bon nombre de cas, les indicateurs d'un niveau donné se présentent simultanément, mais cela n'est pas toujours le cas. De même, tous les indicateurs ne sont pas toujours présents. Cela signifie que la performance d'un candidat peut correspondre à différents niveaux. Afin de tenir compte de cette possibilité, les modèles d'évaluation de l'IB utilisent des descripteurs de niveaux et conseillent aux examinateurs et enseignants d'employer le **modèle de meilleur ajustement** lorsqu'ils décident de la note qu'il convient d'attribuer dans un critère.

Il est recommandé aux enseignants de lire les directives sur l'utilisation des critères d'évaluation fournis dans la section « Utilisation des critères d'évaluation interne » avant de commencer leur notation. Il est également essentiel qu'ils prennent bien connaissance des exemples de travaux évalués, présentés dans le matériel de soutien pédagogique, afin de se familiariser avec la notation. Des définitions précises des mots-consignes utilisés dans les critères d'évaluation sont fournies dans la section « Glossaire des mots-consignes » figurant à la fin du présent guide.

Investissement personnel

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève s'investit dans la recherche et se l'approprié. L'investissement personnel peut prendre la forme de différentes caractéristiques et compétences. Il peut s'agir d'une prise en considération des intérêts personnels ou de signes d'une réflexion indépendante, d'une créativité ou d'une initiative dans la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1	<p>Le rapport témoigne peu d'un investissement personnel dans la recherche et l'élève fait preuve d'une réflexion indépendante, d'une initiative ou d'une créativité limitée.</p> <p>La justification du choix de la question de recherche et/ou du thème de la recherche ne révèle pas leur importance pour l'élève, un intérêt personnel ou une curiosité.</p> <p>Le rapport témoigne peu d'une contribution et d'une initiative personnelles lors de la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.</p>
2	<p>Le rapport témoigne clairement d'un investissement personnel dans la recherche et l'élève fait preuve d'une réflexion indépendante, d'une initiative ou d'une créativité considérable.</p> <p>La justification du choix de la question de recherche et/ou du thème de la recherche révèle leur importance pour l'élève, un intérêt personnel ou une curiosité.</p> <p>Le rapport témoigne d'une contribution et d'une initiative personnelles lors de la conception, la mise en œuvre ou la présentation de la recherche.</p>

Exploration

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève indique le contexte scientifique de sa recherche, formule une question de recherche claire et précise, et utilise des techniques et des concepts adaptés au niveau requis dans le Programme du diplôme. Le cas échéant, il sert également à évaluer la conscience des aspects liés à la sécurité, à l'environnement et à l'éthique.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>Le thème de la recherche est mentionné et une question de recherche assez pertinente est indiquée, mais elle n'est pas précise.</p> <p>Les informations sur le contexte de la recherche sont superficielles ou peu pertinentes, et elles ne facilitent pas la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient dans une très faible mesure au traitement de la question de recherche car elle tient peu compte des facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une conscience limitée des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>
3 – 4	<p>Le thème de la recherche est mentionné, et une question de recherche pertinente, mais pas tout à fait précise, est décrite.</p> <p>La plupart des informations sur le contexte de la recherche sont appropriées et pertinentes, et elles facilitent la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient généralement au traitement de la question de recherche, mais elle présente certaines insuffisances car elle ne tient compte que de quelques facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une certaine conscience des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>
5 – 6	<p>Le thème de la recherche est mentionné, et une question de recherche pertinente et tout à fait précise est clairement décrite.</p> <p>Toutes les informations sur le contexte de la recherche sont appropriées et pertinentes, et elles améliorent la compréhension du contexte de la recherche.</p> <p>La méthode de recherche convient parfaitement au traitement de la question de recherche car elle tient compte de tous, ou presque tous, les facteurs importants pouvant influencer sur la pertinence, la fiabilité et la suffisance des données recueillies.</p> <p>Le rapport témoigne d'une parfaite conscience des aspects importants liés à la sécurité, à l'environnement ou à l'éthique qui sont pertinents pour la méthode d'investigation*.</p>

* Cet indicateur s'applique uniquement lorsqu'il convient à la recherche. Veuillez vous référer aux exemples de travaux évalués fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Analyse

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport de l'élève apporte la preuve que ce dernier a sélectionné, consigné, traité et **interprété** les données d'une façon adaptée à la question de recherche et de façon à pouvoir étayer une conclusion.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>Le rapport comprend un nombre insuffisant de données brutes pertinentes pour étayer une conclusion valable sur la question de recherche.</p> <p>Un certain traitement élémentaire des données est réalisé, mais celui-ci est trop erroné ou trop insuffisant pour conduire à une conclusion valable.</p> <p>Le rapport témoigne d'une prise en considération limitée de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont incorrectement ou insuffisamment interprétées, si bien que la conclusion n'est pas valable ou est très incomplète.</p>
3 – 4	<p>Le rapport comprend des données brutes quantitatives et qualitatives pertinentes, mais incomplètes, qui pourraient étayer une conclusion simple ou partiellement valable sur la question de recherche.</p> <p>Un traitement approprié et suffisant des données est réalisé, qui pourrait conduire à une conclusion globalement valable, mais celui-ci présente des inexactitudes et des incohérences importantes.</p> <p>Le rapport témoigne d'une certaine prise en considération de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont interprétées, si bien que l'élève peut tirer une conclusion globalement valable mais incomplète ou une conclusion limitée sur la question de recherche.</p>
5 – 6	<p>Le rapport comprend suffisamment de données brutes quantitatives et qualitatives pertinentes, qui pourraient étayer une conclusion valable et détaillée sur la question de recherche.</p> <p>Un traitement approprié et suffisant des données est réalisé avec la précision nécessaire pour tirer une conclusion sur la question de recherche qui est totalement en accord avec les données expérimentales.</p> <p>Le rapport témoigne d'une prise en considération totale et appropriée de l'impact de l'incertitude des mesures sur l'analyse.</p> <p>Les données traitées sont correctement interprétées, si bien que l'élève peut tirer une conclusion totalement valable et détaillée sur la question de recherche.</p>

Évaluation

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport de l'élève apporte la preuve que ce dernier a évalué sa recherche et ses résultats en tenant compte de la question de recherche et du contexte scientifique reconnu.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>L'élève décrit brièvement une conclusion qui n'est pas en rapport avec la question de recherche ou qui n'est pas étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>La conclusion établit une comparaison superficielle avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont décrits brièvement, mais ils se limitent à un compte rendu des problèmes pratiques ou de procédure rencontrés.</p> <p>L'élève présente brièvement un très petit nombre de suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>
3 – 4	<p>L'élève décrit une conclusion qui est en rapport avec la question de recherche et qui est étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>Une conclusion est décrite, qui établit une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont décrits et témoignent d'une certaine conscience des problèmes méthodologiques* rencontrés lors de l'établissement de la conclusion.</p> <p>L'élève décrit quelques suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>
5 – 6	<p>L'élève décrit et justifie une conclusion détaillée qui est entièrement en rapport avec la question de recherche et qui est parfaitement étayée par les données présentées dans le rapport.</p> <p>Une conclusion est correctement décrite et justifiée, en établissant une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</p> <p>Les points forts et les points faibles de la recherche, tels que les insuffisances des données et les sources d'erreurs, sont examinés et témoignent d'une bonne compréhension des problèmes méthodologiques* rencontrés lors de l'établissement de la conclusion.</p> <p>L'élève examine des suggestions d'améliorations et d'autres pistes de recherche réalistes et pertinentes pour sa recherche.</p>

* Pour obtenir des précisions, veuillez vous référer aux exemples de travaux évalués fournis dans le matériel de soutien pédagogique.

Communication

Ce critère sert à évaluer si la présentation de la recherche et le rapport de recherche permettent de communiquer efficacement l'objectif, le processus et les résultats.

Niveaux	Descripteurs
0	Le rapport de l'élève n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.
1 – 2	<p>La présentation de la recherche manque de clarté, ce qui rend difficile la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats.</p> <p>Le rapport est mal structuré et manque de clarté : les informations nécessaires sur l'objectif, le processus et les résultats font défaut ou sont présentées de façon incohérente ou désordonnée.</p> <p>La présence d'informations inappropriées ou non pertinentes gêne la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats de la recherche.</p> <p>De nombreuses erreurs sont commises dans l'utilisation de la terminologie et des conventions propres à la matière*.</p>
3 – 4	<p>La présentation de la recherche est claire. Les erreurs éventuelles ne gênent pas la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats.</p> <p>Le rapport est bien structuré et clair : les informations nécessaires sur l'objectif, le processus et les résultats sont incluses et sont présentées de façon cohérente.</p> <p>Le rapport est pertinent et concis, ce qui facilite la compréhension de l'objectif, du processus et des résultats de la recherche.</p> <p>L'utilisation de la terminologie et des conventions propres à la matière est appropriée et correcte. Les erreurs éventuelles ne gênent pas la compréhension.</p>

* Par exemple, les légendes des graphiques, tableaux et images peuvent être incorrectes ou manquantes et il peut y avoir des erreurs dans l'utilisation des unités ou du nombre de décimales. Pour les questions liées aux références et à la mention des sources, veuillez vous référer à la section « Intégrité en milieu scolaire ».

Fondement des travaux pratiques

Si les exigences de l'évaluation interne sont axées sur la recherche individuelle, les divers types de travaux pratiques entrepris par les élèves ont d'autres fins, y compris :

- illustrer, enseigner et renforcer la compréhension des concepts théoriques ;
- développer une meilleure compréhension de la nature essentiellement pratique de la majeure partie des travaux scientifiques ;
- développer une meilleure compréhension de la manière dont les scientifiques utilisent les données secondaires issues de bases de données ;
- développer une meilleure compréhension de l'utilisation de la modélisation par les scientifiques ;
- développer une meilleure compréhension des avantages et des limites des méthodes scientifiques.

Programme de travaux pratiques

Le programme de travaux pratiques (PTP) est la partie pratique du cours prévue par l'enseignant et il consiste en un résumé de toutes les activités de recherche effectuées par un élève. Les élèves du NM et du NS étudiant une même matière peuvent parfois effectuer les mêmes recherches.

Traitement du programme

La gamme de travaux pratiques doit refléter l'étendue et la profondeur du programme d'études de la matière et de chaque niveau, mais il n'est pas nécessaire d'effectuer un travail de recherche pour chaque thème du programme. Tous les élèves doivent cependant prendre part au projet du groupe 4 et réaliser une recherche individuelle pour l'évaluation interne.

Planification du programme de travaux pratiques

Les enseignants sont libres d'élaborer leur propre programme de travaux pratiques en choisissant les travaux pratiques selon les exigences présentées dans le présent guide. Leurs choix doivent être basés sur :

- les matières, niveaux et options enseignés ;
- les besoins de leurs élèves ;
- les ressources disponibles ;
- leur style d'enseignement.

Chaque programme de travaux pratiques doit comprendre quelques expériences complexes qui exigent une plus grande compréhension conceptuelle de la part des élèves. Un programme composé uniquement d'expériences simples, au cours desquelles les élèves doivent, par exemple, cocher des cases ou remplir des tableaux, ne propose pas une gamme adéquate de travaux pratiques aux élèves.

Les enseignants sont invités à se rendre sur la page du CPEL consacrée à leur matière où ils pourront échanger leurs idées de travaux pratiques en prenant part aux discussions sur les forums et en ajoutant des ressources pédagogiques.

Flexibilité

Le programme de travaux pratiques est suffisamment flexible pour permettre la réalisation d'une grande variété d'activités pratiques, telles que :

- des travaux pratiques de courte durée ou des projets s'étendant sur plusieurs semaines ;
- des simulations informatiques ;
- l'utilisation de bases de données pour les données secondaires ;
- l'élaboration et l'utilisation de modèles ;
- des exercices de recueil de données (par exemple, questionnaires, essais auprès des utilisateurs et sondages) ;
- des exercices d'analyse des données ;
- un travail sur le terrain.

Documentation relative aux travaux pratiques

Le formulaire 4/PSOW permet de consigner les activités pratiques effectuées par une classe. Il n'est pas nécessaire de l'envoyer pour la révision de notation des recherches individuelles. Le formulaire 4/PSOW est néanmoins un document de planification et de consignation essentiel qui permet aux enseignants de s'assurer qu'une variété satisfaisante d'activités pratiques sont organisées et qu'un nombre d'heures approprié est attribué aux travaux pratiques. Les enseignants doivent continuer à utiliser ce formulaire (ou leur propre version de celui-ci, contenant les mêmes renseignements) afin de consigner les activités pratiques effectuées par la classe. Ce formulaire doit être conservé dans l'établissement et l'IB doit pouvoir y accéder, par exemple, durant le processus d'évaluation du programme ayant lieu tous les cinq ans.

Temps alloué aux travaux pratiques

Le nombre d'heures d'enseignement recommandé pour tous les cours du Programme du diplôme est de 150 au NM et de 240 au NS. Les élèves du NM doivent consacrer 40 heures aux travaux pratiques tandis que les élèves du NS doivent y consacrer 60 heures (non compris le temps passé à la rédaction). Ces durées comprennent les 10 heures allouées au projet du groupe 4 et les 10 heures allouées à la recherche individuelle, réalisée dans le cadre de l'évaluation interne. Seules 2 à 3 heures de travail de recherche peuvent être effectuées après la date limite pour l'envoi des travaux au réviseur de notation et encore être prises en compte dans le nombre total d'heures consacrées au programme de travaux pratiques.

Le projet du groupe 4

Le projet du groupe 4 est une activité interdisciplinaire à laquelle doivent prendre part tous les élèves suivant un cours de sciences du Programme du diplôme. Il a pour objectif de permettre aux élèves des différentes matières du groupe 4 d'analyser un thème ou un problème commun. Cet exercice doit être réalisé en collaboration et l'accent doit être mis sur les processus intervenant dans une telle activité plutôt que sur les produits de cette activité.

Dans la plupart des cas, tous les élèves de l'établissement effectuent leur recherche sur un même thème. Toutefois, lorsque les élèves sont très nombreux, il est possible de former plusieurs groupes plus réduits comprenant des élèves de chacune des matières scientifiques. Les groupes peuvent alors effectuer leur recherche sur un même thème ou sur des thèmes différents. En d'autres termes, il peut y avoir plusieurs projets du groupe 4 dans un même établissement.

Les élèves suivant le cours de systèmes de l'environnement et sociétés ne sont pas tenus de réaliser le projet du groupe 4.

Résumé du projet du groupe 4

Le projet du groupe 4 est une activité réalisée en collaboration, au cours de laquelle des élèves étudiant différentes matières de ce groupe travaillent ensemble sur un thème scientifique ou technologique. Il permet le partage de concepts et de perspectives issus de différentes disciplines, conformément à l'objectif global 10 qui est « de favoriser une compréhension des rapports existant entre les disciplines scientifiques et de leur influence sur d'autres domaines de la connaissance ». Le projet peut être fondé sur la pratique ou la théorie. La collaboration entre des établissements scolaires de différentes régions est encouragée.

Le projet du groupe 4 permet aux élèves de comprendre les implications environnementales, sociales et éthiques de la science et de la technologie. Il leur permet également de comprendre les limites de la recherche scientifique, telles que l'insuffisance de données pertinentes et le manque de ressources. L'accent est mis sur la coopération interdisciplinaire et sur les procédures suivies dans la recherche scientifique, plutôt que sur les résultats de la recherche.

Le choix du thème scientifique ou technologique est libre, mais le projet doit clairement tenir compte des objectifs globaux 7, 8 et 10 présentés dans les guides des matières du groupe 4.

Dans l'idéal, toutes les étapes du projet doivent impliquer une collaboration entre les élèves étudiant les matières du groupe 4. À cette fin, il n'est pas nécessaire que le thème choisi comporte des composantes bien distinctes par matière. Cependant, certains établissements peuvent préférer une étape « action » distincte par matière (voir la section « Étapes du projet » ci-après), et ce, pour des raisons logistiques.

Étapes du projet

Les dix heures consacrées au projet du groupe 4 font partie du temps d'enseignement réservé au programme de travaux pratiques. Elles doivent être réparties entre les trois étapes du projet : organisation, action et évaluation.

Organisation

Cette étape revêt une grande importance pour l'ensemble du projet et environ deux heures doivent lui être consacrées.

- L'étape « organisation » peut consister en une seule séance ou en deux ou trois séances plus courtes.
- Tous les élèves du groupe 4 doivent participer à cette étape. Au cours d'une séance de remue-ménages, ils discutent du thème principal et échangent des idées et des informations.
- Le thème peut être choisi par les élèves ou par les enseignants.
- Lorsque les élèves sont nombreux, il peut être souhaitable de les répartir en plusieurs groupes composés d'élèves étudiant différentes matières.

Après avoir choisi un thème ou un problème, les activités à effectuer doivent être clairement définies avant de passer de l'étape « organisation » aux étapes « action » et « évaluation ».

Il est possible de laisser les élèves décider eux-mêmes des activités qu'ils entreprendront, soit individuellement ou en tant que membres d'un groupe, et de les laisser effectuer des recherches sur divers aspects du thème. À ce stade, si le projet est de nature expérimentale, il convient de spécifier l'équipement nécessaire pour éviter tout retard dans la réalisation de l'étape « action ». Si l'établissement a opté pour un projet commun avec un autre établissement, il est important de se mettre en rapport avec ce dernier à ce stade.

Action

Environ six heures doivent être consacrées à cette étape. Elles peuvent être réparties sur une ou deux semaines et l'étape peut être réalisée pendant les heures de cours habituelles. Une autre solution consiste à lui consacrer une journée entière lorsque, par exemple, le projet requiert un travail sur le terrain.

- Les élèves doivent effectuer leurs recherches sur le thème choisi dans des groupes composés d'élèves étudiant une même matière ou d'élèves étudiant différentes matières du groupe 4.
- Les élèves doivent collaborer pendant cette étape. Les résultats de leurs recherches doivent être communiqués aux autres élèves au sein du groupe constitué pour le projet. Il est important de prêter attention aux questions de sécurité, d'éthique et de protection de l'environnement pendant les travaux pratiques effectués durant cette étape.

Remarque : les élèves qui étudient deux matières du groupe 4 ne sont pas tenus de réaliser deux étapes « action » distinctes.

Évaluation

Durant cette étape, qui nécessitera sans doute deux heures, l'accent doit être mis sur le partage avec d'autres élèves des résultats obtenus, qu'ils soient positifs ou négatifs. La façon de procéder peut être choisie par les enseignants, les élèves ou conjointement.

- Il est possible de consacrer une matinée, une après-midi ou une soirée à un symposium durant lequel tous les élèves font, individuellement ou en groupes, de courts exposés.
- La présentation des résultats peut aussi être plus informelle et prendre la forme d'une exposition scientifique durant laquelle les élèves circulent d'un stand à l'autre, chaque stand résumant les activités de chaque groupe d'élèves.

Les parents d'élèves, les membres du conseil d'administration et la presse peuvent également être conviés à assister au symposium ou à l'exposition scientifique ». Leur présence est particulièrement fondée lorsque le thème de la recherche a des résonances locales. Certains résultats pourraient influencer les relations entre l'établissement et son environnement ou sa communauté locale.

Prise en considération des objectifs globaux 7 et 8

Objectif global 7 : « acquérir et mettre en pratique les compétences en communication nécessaires au XXI^e siècle lors de l'étude des sciences »

Durant l'étape « organisation », une utilisation de la communication électronique au sein de l'établissement ou entre les établissements permet de prendre partiellement en considération l'objectif global 7. La technologie (par exemple, enregistreurs de données, tableurs, bases de données, etc.) sera probablement utilisée au cours de l'étape « action » et elle le sera certainement à l'étape « évaluation » ou lors de la présentation des résultats (par exemple, utilisation d'images numériques, de logiciels de présentation, de sites Web, de vidéos numériques, etc.).

Objectif global 8 : « développer un sens critique, en tant que citoyens du monde, des implications éthiques de l'utilisation des sciences et de la technologie »

Prise en considération de la dimension internationale

Le choix du thème offre également des possibilités d'illustrer la nature internationale de la recherche scientifique et la nécessité toujours croissante d'une coopération pour s'attaquer aux problèmes mondiaux concernant la science et la technologie. La collaboration avec un établissement d'une autre région constitue une autre façon d'apporter une dimension internationale au projet.

Types de projet

Tout en tenant compte des objectifs globaux 7, 8 et 10, le projet doit être fondé sur la science ou ses applications. À l'étape « action », il peut prendre un caractère pratique ou ne mettre en jeu que des aspects théoriques. Le projet peut être entrepris de diverses manières.

- Conception et réalisation d'une recherche en laboratoire ou d'un travail sur le terrain.
- Étude comparative (expérimentale ou autre) en collaboration avec un autre établissement.
- Recueil, manipulation et analyse de données provenant d'autres sources, telles que des revues scientifiques, des organismes voués à la protection de l'environnement, les secteurs de la science et de la technologie et des rapports gouvernementaux.
- Conception et utilisation d'un modèle ou d'une simulation.
- Contribution à un projet à long terme, organisé par l'établissement.

Stratégies logistiques

L'organisation logistique du projet du groupe 4 représente souvent un défi pour les établissements. Les modèles ci-après illustrent des façons possibles de réaliser le projet.

Les modèles A, B et C s'appliquent à un seul établissement alors que le modèle D concerne un projet faisant appel à une collaboration entre établissements.

Modèle A : groupes composés d'élèves étudiant différentes matières et travaillant sur un seul thème

Les établissements peuvent choisir de former des groupes composés d'élèves étudiant différentes matières du groupe 4 et choisir un thème commun. Le nombre de groupes dépendra du nombre d'élèves.

Modèle B : groupes composés d'élèves étudiant différentes matières et travaillant sur plusieurs thèmes

Les établissements ayant un grand nombre d'élèves peuvent choisir plus d'un thème.

Modèle C : groupes composés d'élèves étudiant une même matière

Certains établissements peuvent choisir de former des groupes composés d'élèves étudiant une même matière avec un ou plusieurs thèmes dans l'étape « action », et ce, pour des raisons logistiques. Ce modèle est moins recommandé car il ne se prête pas à la collaboration interdisciplinaire à laquelle prennent part de nombreux scientifiques.

Modèle D : collaboration avec un autre établissement

Ce modèle peut être utilisé par tous les établissements. Afin de faciliter la collaboration, l'IB a mis un forum électronique à la disposition des établissements sur le CPEL. Ils pourront y publier leurs idées de projets et rechercher la collaboration d'autres établissements. Cette collaboration pourra aussi bien prendre la forme d'un simple échange des résultats lors de la phase « évaluation » pour un thème commun que d'une collaboration totale à toutes les étapes du projet.

Dans les établissements ayant peu d'élèves du Programme du diplôme ou ceux ayant des élèves de cours du Programme du diplôme, les élèves ont la possibilité de travailler avec d'autres élèves qui ne sont pas inscrits au Programme du diplôme ou qui n'étudient pas une matière du groupe 4. Il est également possible d'entreprendre le projet tous les deux ans. Ces établissements sont toutefois encouragés à collaborer avec un autre établissement. Cette stratégie est également recommandée pour les élèves n'ayant pas pu participer au projet (par exemple, en raison d'une maladie ou parce qu'ils ont été transférés dans un nouvel établissement où le projet est déjà terminé).

Calendrier

Les dix heures que l'IB recommande de consacrer au projet peuvent être réparties sur plusieurs semaines. Il convient de tenir compte de la répartition de ces heures lors du choix du moment le plus opportun pour réaliser le projet. Il est toutefois possible qu'un groupe se consacre exclusivement au projet durant une certaine période, si toutes ou presque toutes les autres activités scolaires sont suspendues durant cette période.

1^{re} année

En 1^{re} année, l'expérience et les compétences des élèves sont limitées et il n'est pas conseillé de commencer le projet trop tôt dans le programme. Toutefois, la réalisation du projet au cours de la dernière partie de la 1^{re} année présente l'avantage de réduire la charge de travail des élèves plus tard. Cette stratégie laisse du temps pour la résolution de problèmes inattendus.

1^{re} année et 2^e année

À la fin de la 1^{re} année, l'étape « organisation » peut commencer, le thème peut être choisi et des discussions préliminaires peuvent avoir lieu dans chaque matière. Les élèves peuvent ensuite mettre à profit leurs vacances pour réfléchir à la façon dont ils aborderont le projet. Ils seront ainsi prêts à commencer à travailler sur le projet au début de la 2^e année.

2^e année

Reporter le début du projet à plus tard au cours de la 2^e année augmente le stress des élèves à bien des égards, surtout s'il commence très tard dans l'année. En effet, cette stratégie présente l'inconvénient d'avoir un échéancier plus serré que dans les autres stratégies ; des difficultés supplémentaires peuvent survenir si un élève tombe malade ou que des problèmes inattendus se produisent. Elle présente néanmoins plusieurs avantages : les élèves connaissent leurs pairs et leurs enseignants à ce stade, ils sont sans doute accoutumés au travail en équipe et ils ont plus d'expérience dans les domaines concernés qu'en 1^{re} année.

NM et NS combinés

Lorsque les circonstances exigent que le projet ne soit entrepris que tous les deux ans, il est possible de faire travailler conjointement les élèves du NM les plus expérimentés et les débutants du NS.

Choix du thème

Les élèves peuvent choisir le thème de la recherche ou proposer des thèmes possibles et leurs enseignants décident ensuite du projet le plus réalisable sur la base de la disponibilité des ressources, du personnel, etc. Les enseignants peuvent aussi choisir le thème de la recherche ou proposer plusieurs thèmes aux élèves, qui choisissent celui qu'ils préfèrent.

Choix du thème par les élèves

S'ils ont choisi eux-mêmes le thème de la recherche, les élèves feront sans doute preuve de plus d'enthousiasme et se l'approprient mieux. Une stratégie permettant aux élèves de choisir le thème du projet et incluant une partie de l'étape « organisation » est suggérée ci-dessous. À ce stade, les enseignants peuvent conseiller les élèves quant aux chances de succès des thèmes proposés.

- Trouver des thèmes possibles à l'aide d'un questionnaire ou d'un sondage auprès des élèves.
- Organiser une séance initiale de remue-méninges sur les thèmes ou problèmes possibles.
- Discuter brièvement de deux ou trois thèmes qui semblent intéressants.
- Choisir un thème par consensus.
- Demander aux élèves de dresser une liste des recherches qui peuvent être effectuées. Tous les élèves discutent ensuite de certains points, tels que les chevauchements possibles et les recherches effectuées en collaboration.

Dans le cadre de l'évaluation interne, chaque élève doit rédiger un bilan de sa participation au projet du groupe 4 sur la page de couverture de la recherche individuelle. Le *Manuel de procédures pour le Programme du diplôme* contient de plus amples renseignements à ce sujet.

Glossaire des mots-consignes

Mots-consignes pour le cours de biologie

Les mots-consignes, autrefois appelés « termes utilisés dans le cadre de l'évaluation » et présentés ci-après, sont des termes et formules clés utilisés dans les questions d'examen. Les élèves doivent les connaître et les comprendre dans le sens des définitions données. Bien que ces mots-consignes soient ceux qui reviennent le plus souvent dans les questions d'examen, il est possible que d'autres termes soient parfois utilisés pour amener les élèves à présenter leur argumentation d'une autre façon.

Ces mots-consignes indiquent la profondeur de traitement requise.

Objectif d'évaluation 1

Mot-consigne	Définition
Classer	Organiser ou ranger par classes ou catégories.
Définir	Donner la signification précise d'un mot, d'une expression, d'un concept ou d'une grandeur physique.
Dessiner	Représenter à l'aide d'un schéma ou d'une représentation graphique précise et légendée, en utilisant un crayon. Une règle (ou une latte graduée) doit être utilisée pour dessiner les droites. Les schémas doivent être dessinés à l'échelle. Les points des graphiques doivent être placés correctement (si nécessaire) et reliés par des droites ou des courbes.
Énumérer	Fournir une liste de réponses brèves sans explication.
Exprimer	Donner un nom spécifique, une valeur ou toute autre réponse brève sans explication ni calcul.
Légender	Ajouter des légendes à un schéma.
Mesurer	Obtenir une valeur pour une quantité.

Objectif d'évaluation 2

Annoter	Ajouter des notes brèves à un schéma ou à un graphique.
Calculer	Obtenir une réponse numérique en montrant les étapes adéquates pour l'obtenir (sauf indication contraire).
Décrire	Exposer de façon détaillée.
Distinguer	Clarifier les différences qui existent entre deux ou plusieurs concepts ou éléments.
Estimer	Donner une valeur approximative.
Identifier	Fournir la bonne réponse à partir de plusieurs possibilités.
Résumer	Présenter brièvement ou donner une idée générale.

Objectif d'évaluation 3

Mot-consigne	Définition
Analyser	Décomposer de manière à exposer les éléments essentiels ou la structure.
Commenter	Formuler un jugement basé sur un énoncé ou un résultat d'un calcul donné.
Comparer	Exposer les similitudes qui existent entre deux ou plusieurs éléments ou situations et se référer constamment à ces deux ou à tous ces éléments.
Comparer et opposer	Exposer les similitudes et les différences qui existent entre deux ou plusieurs éléments ou situations, et se référer constamment à ces deux ou à tous ces éléments.
Construire	Présenter les informations de manière schématique ou logique.
Déduire	Parvenir à une conclusion à partir des informations fournies.
Démontrer	Établir de manière évidente, par un raisonnement ou des éléments de preuve, en illustrant à l'aide d'exemples ou d'applications.
Dériver	Manipuler une relation mathématique pour donner une nouvelle équation ou relation.
Déterminer	Trouver la seule réponse possible.
Discuter	Présenter une critique équilibrée et réfléchie s'appuyant sur différents arguments, facteurs ou hypothèses. Les opinions et conclusions doivent être présentées clairement et étayées de preuves adéquates.
Élaborer	Produire un plan, une simulation ou un modèle.
Évaluer	Émettre un jugement en pesant les points forts et les points faibles.
Examiner	Aborder un argument ou un concept de façon à faire la lumière sur ses postulats et ses corrélations.
Expliquer	Donner un compte rendu détaillé incluant les raisons ou les causes.
Explorer	Adopter une démarche systématique de découverte.
Interpréter	Utiliser ses connaissances et sa compréhension pour reconnaître les tendances et tirer des conclusions à partir des informations données.
Justifier	Donner des raisons ou des preuves valables pour étayer une réponse ou une conclusion.
Montrer	Donner les étapes d'un calcul, d'une démarche ou d'un raisonnement.
Prédire	Donner un résultat attendu.
Représenter	Représenter au moyen d'un schéma ou d'un graphique (légendé de manière appropriée). La représentation doit donner une idée générale de la forme ou de la relation demandée et doit inclure des éléments appropriés.
Résoudre	Obtenir des réponses à l'aide de méthodes algébrique, numérique et/ou graphique.
Suggérer	Proposer une solution, une hypothèse ou une autre réponse possible.

Bibliographie

Cette bibliographie recense les principaux ouvrages qui ont documenté la révision du programme. Elle ne constitue pas une liste exhaustive de tous les ouvrages existants dans ce domaine : une sélection judicieuse a été effectuée afin de fournir les meilleurs conseils aux enseignants. Cette bibliographie ne doit pas être perçue comme une liste de manuels recommandés.

RHOTON, J. 2010. *Science Education Leadership: Best Practices for the New Century*. Arlington (Virginie), États-Unis : National Science Teachers Association Press.

MASOOD, E. 2009. *Science & Islam: A History*. Londres, Royaume-Uni : Icon Books.

ROBERTS, B. 2009. *Educating for Global Citizenship: A Practical Guide for Schools*. Cardiff, Royaume-Uni : International Baccalaureate Organization.

MARTIN, J. 2006. *The Meaning of the 21st Century: A vital blueprint for ensuring our future*. Londres, Royaume-Uni : Eden Project Books.

GERZON, M. 2010. *Global Citizens: How our vision of the world is outdated, and what we can do about it*. Londres, Royaume-Uni : Rider Books.

HAYDON, G. 2006. *Education, Philosophy & the Ethical Environment*. Oxon / New York, États-Unis : Routledge.

ANDERSON, L. W. et al. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, États-Unis : Addison Wesley Longman, Inc.

HATTIE, J. 2009. *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon / New York, États-Unis : Routledge.

PETTY, G. 2009. *Evidence-based Teaching: A practical approach* (2^e édition). Cheltenham, Royaume-Uni : Nelson Thornes Ltd.

ANDAIN, I. et MURPHY, G. 2008. *Creating Lifelong Learners: Challenges for Education in the 21st Century*. Cardiff, Royaume-Uni : International Baccalaureate Organization.

JEWKES, J., SAWERS, D. et STILLERMAN, R. 1969. *The Sources of Invention* (2^e édition). New York, États-Unis : W.W. Norton & Co.

LAWSON, B. 2005. *How Designers Think: The design process demystified* (4^e édition). Oxford, Royaume-Uni : Architectural Press.

DOUGLAS, H. 2009. *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. Pittsburgh, États-Unis : University of Pittsburgh Press.

AIKENHEAD, G. et MICHELL, H. 2011. *Bridging Cultures: Indigenous and Scientific Ways of Knowing Nature*. Toronto, Canada : Pearson Canada.

WINSTON, M. et EDELBACH, R. 2012. *Society, Ethics, and Technology* (4^e édition). Boston, États-Unis : Wadsworth CENGAGE Learning.

BRIAN ARTHUR, W. 2009. *The Nature of Technology*. Londres, Royaume-Uni : Penguin Books.

HEADRICK, D. 2009. *Technology: A World History*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.

- POPPER, K. R. 1980. *The Logic of Scientific Discovery* (4^e édition révisée). Londres, Royaume-Uni : Hutchinson. [Une version française de l'ouvrage est disponible : *La logique de la découverte scientifique*]
- TREFIL, J. 2008. *Why Science?* New York / Arlington, États-Unis : NSTA Press & Teachers College Press.
- KUHN, T. S. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions* (3^e édition). Chicago, États-Unis : The University of Chicago Press. [Une version française de l'ouvrage est disponible : *La structure des révolutions scientifiques*]
- KHINE, M. S. (éditeur). 2012. *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*. Bahreïn : Springer.
- SPIER, F. 2010. *Big History and the Future of Humanity*. Chichester, Royaume-Uni : Wiley-Blackwell.
- STOKES BROWN, C. 2007. *Big History: From the Big Bang to the Present*. New York, États-Unis : The New Press.
- SWAIN, H. (éditeur). 2002. *Big Questions in Sciences*. Londres, Royaume-Uni : Vintage.
- ROBERTS, R. M. 1989. *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*. Chichester, Royaume-Uni : Wiley Science Editions.
- EHRlich, R. 2001. *Nine crazy ideas in science*. Princeton, États-Unis : Princeton University Press.
- LLOYD, C. 2012. *What on Earth Happened? The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day*. Londres, Royaume-Uni : Bloomsbury Publishing.
- TREFIL, J. et HAZEN, R. M. 2010. *Sciences: An integrated Approach* (6^e édition). Chichester, Royaume-Uni : Wiley.
- INTERNATIONAL COUNCIL OF ASSOCIATIONS FOR SCIENCE EDUCATION (ICASE). 2010. *Innovation in Science & Technology Education: Research, Policy, Practice*. Tartu, Estonie : ICASE / UNESCO / University of Tartu.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Science for all Americans online* [en ligne]. Washington D.C., États-Unis, 1990. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>>.
- MCLELLAND, C. V. *Nature of Science and the Scientific Method* [en ligne]. Boulder, États-Unis : The Geological Society of America, 2012. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.geosociety.org/educate/naturescience.pdf>>.
- BIG HISTORY PROJECT. *Big History: An Introduction to Everything* [en ligne]. 2011. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.bighistoryproject.com>>.
- NUFFIELD FOUNDATION. *How science works* [en ligne]. Londres, Royaume-Uni : Nuffield Foundation, 2012. Référence du 21 mars 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/how-science-works>>.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA MUSEUM OF PALEONTOLOGY. *Understanding Science* [en ligne]. Berkeley, États-Unis. Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.understandingscience.org>>.
- COLLINS, S., OSBORNE, J., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. et DUSCHL, R. 2012. *What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the 'expert' community*. Saint Louis, États-Unis : National Association for Research in Science Teaching (NARST).
- TIMSS (The Trends in International Mathematics and Science Study). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://timssandpirls.bc.edu>>.
- PISA (Programme for International Student Assessment). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://www.oecd.org/pisa>>.
- ROSE (The Relevance of Science Education). Référence du 1^{er} février 2013. Disponible sur Internet : <<http://roseproject.no/>>.