Mode_d_Emploi 2
Cycle3Sciences&Technologie_2023 3
Cycle4SVT 33
C4_SVT_idees_cles 53
C4_SVT_mettre_en_oeuvretheme1 59
C4_SVT_mettre_en_oeuvretheme2 72
C4_SVT_mettre_en_oeuvretheme3 83
SECONDE 89
2ndeTh1_SVT_Biodiversite 105
2ndeTh1_SVT_Metabolisme 116
2ndeTh2_SVT_Agrosysteme 124
2ndeTh2_SVT_erosion 137
2ndeTh3_SVT_MicroorganismesSante 145
2ndeTh3_SVT_Procreation 155
PremiereEnseignementScientifique 169
1EREspecialiteSVT 184
1_SVT_DynamiqueInterne 206
1_SVT_EcosystemesServicesEnvironnementaux 218
1_SVT_Information-genetique-transmission-expression-variation 227
1_SVT_SystemeImmunitaire 237
TerminaleEnseignementScientifique23_24 245
TERMspecialiteSVT 264
T_SVT_GenetiqueEvolution 291
T_SVT_Theme1_PasseGeologiquePlanete 310
T_SVT_Theme2_ClimatsTerre 320
T_SVT_Theme2_plantes-sauvage-domestiquee 332
T_SVT_Theme3_Comportement-mouvement-SysNerveux 345
PourInformationTerminaleEnseignementScientifique24_25 355

Compilation des programmes de Sciences et technologie, Sciences de la Vie et de la Terre et d'Enseignement Scientifique de collège et de lycée à consulter en .pdf

Vous trouverez dans les pages suivantes les programmes officiels de SVT de l'Éducation Nationale compilés depuis le site éduscol.

Les documents d'accompagnement de chaque sous thème sont également disponibles à la suite de chaque programme.

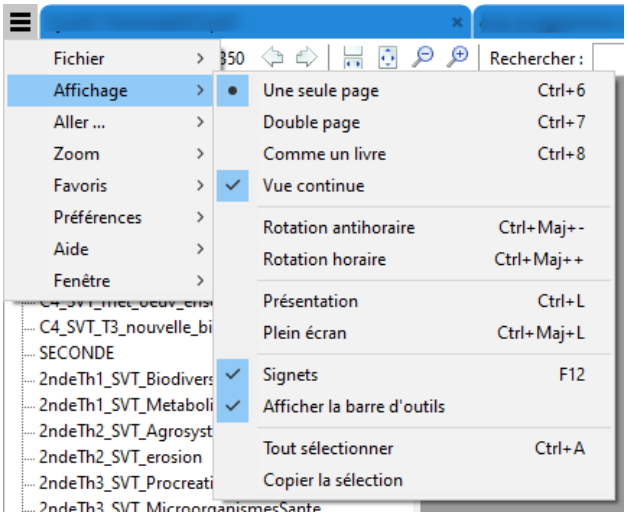
Pour obtenir les versions les plus à jour ou compléter vos ressources consultez les pages « j'enseigne » de ce site : https://eduscol.education.fr/74/j-enseigne.

Choisissez ensuite le cycle ou le niveau.

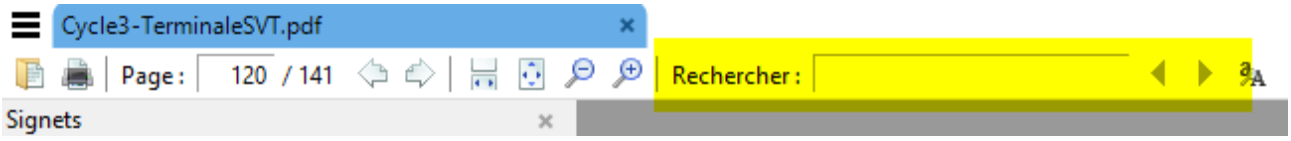
La ressource dispose d'un sommaire avec des signets qui permettent d'atteindre directement le programme d'un cycle ou d'un niveau.

Pour consulter cette ressource vous pouvez utiliser un lecteur de pdf.
Pour information le logiciel libre SumatraPDF est disponible pour Windows et recommandé par le SILL : https://www.sumatrapdfreader.org/download-free-pdf-viewer

Exemple de paramétrage pour avoir accès aux signets :



Pour naviguer plus rapidement dans les ressources, pensez à faire des recherches par mots clés. Naviguez ensuite avec les flèches pour aller d'une occurrence à une autre.



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
ET DE LA JEUNESSE

Liberté
Égalité
Fraternité

Programme du cycle 3

En vigueur à la rentrée 2023

Cette nouvelle version d'après le BOEN n° 31 du 30 juillet 2020 et le BOEN n° 25 du 22 juin 2023 inclut le nouveau programme de sciences et technologie.

Annexe 2

Programme d'enseignement du cycle de consolidation (cycle 3)

Sommaire

Volet 1 : les spécificités du cycle de consolidation (cycle 3)

Volet 2 : contributions essentielles des différents enseignements au socle commun

Volet 3 : les enseignements (cycle 3)

Français

Langues vivantes (étrangères ou régionales)

Arts plastiques

Éducation musicale

Histoire des arts

Éducation physique et sportive

Enseignement moral et civique

Histoire et géographie

Sciences et technologie

Mathématiques

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Volet 1 : les spécificités du cycle de consolidation (cycle 3)

Le cycle 3 relie les deux dernières années de l'école primaire et la première année du collège, dans un souci renforcé de continuité pédagogique et de cohérence des apprentissages au service de l'acquisition du socle commun de connaissances, de compétences et de culture. Ce cycle a une double responsabilité : **consolider l'acquisition des savoirs fondamentaux (lire, écrire, compter, respecter autrui)** qui ont été engagés au cycle 2 et qui conditionnent les apprentissages ultérieurs ; **permettre une meilleure transition entre l'école primaire et le collège** en assurant une continuité et une progressivité entre les trois années du cycle.

Le programme fixe les attendus de fin de cycle et précise les compétences et connaissances travaillées. L'enseignement doit être structuré, progressif et explicite. Les modalités d'apprentissages doivent être différenciées selon le rythme d'acquisition des élèves afin de favoriser leur réussite. Pour certains enseignements, le programme fournit des repères de programmation afin de faciliter la répartition des thèmes d'enseignement entre les trois années du cycle, cette répartition pouvant être aménagée en fonction du projet pédagogique du cycle ou de conditions spécifiques (classes à plusieurs niveaux, notamment).

La classe de 6e occupe une place particulière dans le cycle : elle permet aux élèves de s'adapter au rythme, à l'organisation pédagogique et au cadre de vie du collège tout en se situant dans la continuité des apprentissages engagés au CM1 et au CM2. Ce programme de cycle 3 permet ainsi une entrée progressive et naturelle dans les savoirs constitués des disciplines mais aussi dans leurs langages, leurs démarches et leurs méthodes spécifiques. Pris en charge à l'école par un même professeur polyvalent qui peut ainsi travailler à des acquisitions communes à plusieurs enseignements et établir des liens entre les différents domaines du socle commun, l'enseignement de ces savoirs constitués est assuré en 6e par plusieurs professeurs spécialistes de leur discipline qui contribuent collectivement, grâce à des thématiques communes et aux liens établis entre les disciplines, à l'acquisition des compétences définies par le socle.

Objectifs d'apprentissage

Cycle de consolidation, le cycle 3 a tout d'abord pour objectif de **stabiliser et d'affermir pour tous les élèves les apprentissages fondamentaux engagés dans le cycle 2.**

Le cycle 2 a permis l'acquisition de la lecture et de l'écriture de la langue française. Le cycle 3 doit consolider ces acquisitions afin de les mettre au service des autres apprentissages dans une utilisation large et diversifiée de la lecture et de l'écriture. Le langage oral, qui conditionne également l'ensemble des apprentissages, continue à faire l'objet d'une attention constante et d'un travail spécifique. De manière générale, la maîtrise de la langue reste un objectif central du cycle 3 qui doit assurer à tous les élèves une autonomie suffisante en lecture et écriture pour aborder le cycle 4 avec les acquis nécessaires à la poursuite de la scolarité.

Les élèves commencent l'apprentissage d'une langue vivante étrangère ou régionale dès la première année du cycle 2. Au cycle 3, cet apprentissage se poursuit de manière à atteindre un niveau de compétence homogène dans toutes les activités langagières et à développer une maîtrise plus grande de certaines d'entre elles.

En ce qui concerne les langages scientifiques, le cycle 3 poursuit la construction des nombres entiers et de leur système de désignation, notamment pour les grands nombres. Il introduit la connaissance des fractions et des nombres décimaux. Les quatre opérations sur les nombres, sans négliger la mémorisation de faits numériques et l'automatisation de procédures de calcul, sont travaillées tout au long du cycle. Les notions mathématiques étudiées prendront tout leur sens dans la résolution de problèmes qui justifie leur acquisition.

Le cycle 3 installe également tous les éléments qui permettent de décrire, observer, caractériser les objets qui nous entourent : formes géométriques, attributs caractéristiques, grandeurs attachées, nombres et unités qui permettent d'exprimer ces grandeurs.

D'une façon plus spécifique, l'élève acquiert les bases de langages scientifiques qui lui permettent de formuler et de résoudre des problèmes, de traiter des données. Il est formé à utiliser des représentations variées d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels (schémas, dessins d'observation, maquettes, etc.) et à organiser des données de nature variée à l'aide de tableaux, graphiques ou diagrammes qu'il est capable de produire et d'exploiter.

Dans le domaine des arts, en arts plastiques ainsi qu'en éducation musicale, le cycle 3 marque le passage d'activités servant principalement des objectifs d'expression, à l'investigation progressive par l'élève, à travers une pratique réelle, des moyens, des techniques et des démarches de la création artistique. Les élèves apprennent à maîtriser les codes des langages artistiques étudiés et développent ainsi une capacité accrue d'attention et de sensibilité aux productions. Ils rencontrent les acteurs de la création et en découvrent les lieux. L'acquisition d'une culture artistique diversifiée et structurée est renforcée au cycle 3 par l'introduction d'un enseignement d'histoire des arts, transversal aux différents enseignements.

L'éducation physique et sportive occupe une place originale où le corps, la motricité, l'action et l'engagement de soi sont au cœur des apprentissages et assure une contribution essentielle à l'éducation à la santé. Par la confrontation à des problèmes moteurs variés et la rencontre avec les autres, dans différents jeux et activités physiques et sportives, les élèves poursuivent au cycle 3 l'exploration de leurs possibilités motrices et renforcent leurs premières compétences.

Pour tous ces langages, **les élèves sont encouragés à s'exprimer et à communiquer**. Ils sont capables de réfléchir sur le choix et l'utilisation de ceux-ci. La langue française et la langue étrangère ou régionale étudiée deviennent un objet d'observation, de comparaison et de réflexion. Les élèves acquièrent la capacité de raisonner sur la langue et d'appliquer ces raisonnements sur l'orthographe, la grammaire, le lexique. Ils deviennent également conscients des moyens à mettre en œuvre pour résoudre des problèmes. Les stratégies utilisées pour comprendre leur sont enseignées explicitement et ils développent des capacités métacognitives qui leur permettent de choisir les méthodes de travail les plus appropriées.

Les élèves se familiarisent avec différentes sources documentaires, apprennent à chercher des informations et à interroger l'origine et la pertinence de ces informations dans l'univers du numérique. Le traitement et l'appropriation de ces informations font l'objet d'un apprentissage spécifique, en lien avec le développement des compétences de lecture et d'écriture.

En gagnant en aisance et en assurance et en devenant capables de réfléchir aux méthodes pour apprendre et réaliser les tâches qui leur sont demandées, les élèves acquièrent une autonomie et organisent mieux leur travail personnel.

Le cycle 2 a permis une première étape d'acquisition de connaissances qui se poursuit au cycle 3 avec l'entrée dans les différents champs disciplinaires. Ainsi, l'histoire et la géographie les rendent conscients de leur inscription dans le temps long de l'humanité comme dans les différents espaces qu'ils habitent. Les élèves découvrent comment la démarche historique permet d'apporter des réponses aux interrogations et apprennent à distinguer histoire et fiction. La géographie leur permet de passer progressivement d'une représentation personnelle et affective des espaces à une connaissance plus objective du monde en élargissant leur horizon et en questionnant les relations des individus et des sociétés avec les lieux à différentes échelles. L'enseignement des sciences et de la technologie au cycle 3 a pour objectif de faire acquérir aux élèves une première culture scientifique et technique indispensable à la description et la compréhension du monde et des grands défis de l'humanité. Les élèves apprennent à adopter une approche rationnelle du monde en proposant des explications et des solutions à des problèmes d'ordre scientifique et technique. Les situations où ils mobilisent savoirs et savoir-faire pour mener une tâche complexe sont introduites progressivement.

Dans le domaine des arts, de l'éducation physique et sportive et de la littérature, les élèves sont amenés à découvrir et fréquenter un nombre significatif d'œuvres et à relier production et réception des œuvres. Le cycle 3 développe et structure ainsi la capacité des élèves à situer ce qu'ils pratiquent et à se situer par rapport aux productions des artistes. Il garantit l'acquisition d'une culture commune, physique, sportive et artistique.

De manière plus générale au cycle 3, les élèves accèdent à une réflexion plus abstraite qui favorise le raisonnement et sa mise en œuvre dans des tâches plus complexes. Ils sont incités à agir de manière responsable et à coopérer à travers la réalisation de projets, à créer et à produire un nombre significatifs d'écrits, à mener à bien des réalisations de tous ordres.

L'éducation aux médias et à l'information mise en place depuis le cycle 2 permet de familiariser les élèves avec une démarche de questionnement dans les différents champs du savoir. Ils sont conduits à développer le sens de l'observation, la curiosité, l'esprit critique et, de manière plus générale, l'autonomie de la pensée. Pour la classe de 6e, les professeurs peuvent consulter la partie « Éducation aux médias et à l'information » du programme de cycle 4.

Volet 2 : contributions essentielles des différents enseignements au socle commun

Domaine 1 : Les langages pour penser et communiquer

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant la langue française à l'oral et à l'écrit**

Le français a pour objectif principal au cycle 3 la maîtrise de la langue française qu'il développe dans trois champs d'activités langagières : le langage oral, la lecture et l'écriture. Il y contribue également par l'étude de la langue qui permet aux élèves de réfléchir sur son fonctionnement, en particulier pour en comprendre les régularités et assurer les principaux accords orthographiques.

Tous les enseignements concourent à la maîtrise de la langue. En histoire, en géographie et en sciences, on s'attachera à travailler la lecture, la compréhension et la production des différentes formes d'expression et de représentation en lien avec les apprentissages des langages scientifiques.

L'histoire des arts ainsi que les arts de façon générale amènent les élèves à acquérir un lexique et des formulations spécifiques pour décrire, comprendre et interroger les œuvres et langages artistiques.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant une langue étrangère ou régionale**

L'enseignement des langues étrangères ou régionales développe les cinq grandes activités langagières (écouter et comprendre, lire, parler en continu, écrire, réagir et dialoguer) qui permettent de comprendre et communiquer à l'écrit et à l'oral dans une autre langue. L'enseignement des langues vivantes fait également découvrir à l'élève d'autres cultures, d'autres manières de comprendre le monde et d'en appréhender les problématiques humaines, sociétales, économiques et environnementales.

En français, en étude de la langue, on s'attache à comparer le système linguistique du français avec celui de la langue vivante étudiée en classe. En littérature, la lecture d'albums ou de courts récits en édition bilingue est également à encourager.

En éducation musicale, l'apprentissage et l'imitation de chansons en langue étrangère ou régionale permet de développer les compétences d'écoute et d'assimilation du matériau sonore de la langue étudiée.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques**

Les mathématiques, les sciences et la technologie contribuent principalement à l'acquisition des langages scientifiques. En mathématiques, ils permettent la construction du système de numération et l'acquisition des quatre opérations sur les nombres, mobilisées dans la résolution de problèmes, ainsi que la description, l'observation et la caractérisation des objets qui nous entourent (formes géométriques, attributs caractéristiques, grandeurs attachées et nombres qui permettent d'exprimer ces grandeurs).

En sciences et en technologie, mais également en histoire et en géographie, les langages scientifiques permettent de résoudre des problèmes, traiter et organiser des données, lire et communiquer des résultats, recourir à des représentations variées d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels (schémas, dessins d'observation, maquettes, etc.), argumenter pour distinguer une connaissance scientifique d'une opinion sur des enjeux majeurs, comme ceux liés à l'importance de la biodiversité et au développement durable.

L'éducation physique et sportive permet de donner un sens concret aux données mathématiques en travaillant sur temps, distance et vitesse.

Il importe que tous les enseignements soient concernés par l'acquisition des langages scientifiques.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages des arts et du corps**

Tous les enseignements concourent à développer les capacités d'expression et de communication des élèves.

Aux arts plastiques et à l'éducation musicale revient prioritairement de les initier aux langages artistiques par la réalisation de productions plastiques et par le chant.

Le français tout comme la langue vivante étudiée donne toute sa place à l'écriture créative et à la pratique théâtrale.

L'éducation physique et sportive apprend aux élèves à s'exprimer en utilisant des codes non verbaux, gestuels et corporels originaux. Ils communiquent aux autres des sentiments ou des émotions par la réalisation d'actions gymniques ou acrobatiques, de représentations à visée expressive, artistique, esthétique. Ils en justifient les choix et les intentions.

Domaine 2 : Les méthodes et outils pour apprendre

Tous les enseignements doivent apprendre aux élèves à organiser leur travail pour améliorer l'efficacité des apprentissages. Ils doivent également contribuer à faire acquérir la capacité de coopérer en développant le travail en groupe et le travail collaboratif à l'aide des outils numériques, ainsi que la capacité de réaliser des projets. Des projets interdisciplinaires sont réalisés chaque année du cycle. Dans tous les enseignements en fonction des besoins, mais en histoire, en géographie et en sciences en particulier, les élèves se familiarisent avec différentes sources documentaires, apprennent à chercher des informations et à interroger l'origine et la pertinence de ces informations dans l'univers du numérique. En français, le traitement et l'appropriation de ces informations font l'objet d'un apprentissage spécifique, en lien avec le développement des compétences de lecture et d'écriture. En classe de 6e, les élèves découvrent le fonctionnement du centre de documentation et d'information. Le professeur documentaliste intervient pour faire connaître les différents modes d'organisation de l'information (clés du livre documentaire, bases de données, arborescence d'un site) et une méthode simple de recherche d'informations.

La maîtrise des techniques et la connaissance des règles des outils numériques se construisent notamment à travers l'enseignement des sciences et de la technologie où les élèves apprennent à connaître l'organisation d'un environnement numérique et à utiliser différents périphériques ainsi que des logiciels de traitement de données numériques (images, textes, sons, etc.). En mathématiques, ils apprennent à utiliser des logiciels de calculs et d'initiation à la programmation. Dans le domaine des arts, ils sont conduits à intégrer l'usage des outils informatiques de travail de l'image et de recherche d'information au service de la pratique plastique et à manipuler des objets sonores à l'aide d'outils informatiques simples. En langue vivante, le recours aux outils numériques permet d'accroître l'exposition à une langue vivante authentique. En français, les élèves apprennent à utiliser des outils d'écriture (traitement de texte, correcteurs orthographiques, dictionnaires en ligne) et à produire un document intégrant du son et de l'image.

Domaine 3 : La formation de la personne et du citoyen

Tous les arts concourent au développement de la sensibilité à la fois par la pratique artistique, par la fréquentation des œuvres et par l'expression de ses émotions et de ses goûts. L'histoire des arts, qui associe la rencontre des œuvres et l'analyse de leur langage, contribue à former un lien particulier entre dimension sensible et dimension rationnelle. En français, on s'attache à permettre la réception sensible des œuvres littéraires en développant son expression, la formulation de ses opinions, dans des échanges oraux ou en en recueillant les traces écrites dans des carnets de lecture.

L'ensemble des enseignements doit contribuer à développer la confiance en soi et le respect des autres.

L'éducation physique et sportive permet tout particulièrement de travailler sur ce respect, sur le refus des discriminations et l'application des principes de l'égalité fille/garçon. Par la prise de parole en langue vivante et l'écoute régulière des autres dans le cadre de la classe, l'apprentissage des langues vivantes étrangères ou régionales renforce la confiance en soi, le respect d'autrui, le sens de l'engagement et de l'initiative et ouvre aux cultures qui lui sont associées, ce qui permet de dépasser les stéréotypes et les clichés.

L'enseignement moral et civique assure principalement la compréhension de la règle et du droit. La règle et le droit sont également ceux du cadre scolaire que les élèves doivent apprendre à respecter. En histoire, le thème consacré à la construction de la République et de la démocratie permet d'étudier comment ont été conquis les libertés et les droits en vigueur aujourd'hui en France et de comprendre les devoirs qui incombent aux citoyens. En sciences et en technologie, il s'agit plus particulièrement d'apprendre à respecter les règles d'hygiène et de sécurité, ainsi que l'environnement.

Tous les enseignements contribuent à la formation du jugement. En histoire plus particulièrement, les élèves sont amenés à distinguer l'histoire de la fiction. Les mathématiques contribuent à construire chez les élèves l'idée de preuve et d'argumentation.

L'enseignement moral et civique permet de réfléchir au sens de l'engagement et de l'initiative qui trouve à se mettre en œuvre dans la réalisation de projets et dans la participation à la vie collective de l'établissement. L'éducation au développement durable en constitue un élément important : mener des actions concrètes dans les écoles, en faveur de la protection de l'environnement, offre autant d'occasions pour les élèves de développer leur sens de l'engagement. L'enseignement de sciences et technologie développe progressivement chez les élèves un regard critique sur les objets du quotidien, du point de vue de l'impact engendré par leur création, leur utilisation et leur recyclage sur l'exploitation des ressources de la planète.

Ce domaine s'appuie aussi sur les apports de la vie scolaire.

Domaine 4 : Les systèmes naturels et les systèmes techniques

Par l'observation du réel**,** les sciences et la technologie suscitent les questionnements des élèves et la recherche de réponses. Au cycle 3, elles explorent trois domaines de connaissances : l'environnement proche pour identifier les enjeux technologiques, économiques et environnementaux ; les pratiques technologiques et des processus permettant à l'être humain de répondre à ses besoins alimentaires ; le vivant pour mettre en place le concept d'évolution et les propriétés des matériaux pour les mettre en relation avec leurs utilisations. Par le recours à la démarche d'investigation, les sciences et la technologie apprennent aux élèves à observer et à décrire, à déterminer les étapes d'une investigation, à établir des relations de cause à effet et à utiliser différentes ressources. Les élèves apprennent à utiliser leurs connaissances et savoir-faire scientifiques et technologiques pour concevoir et pour produire. Ils apprennent également à adopter un comportement éthique et responsable et à utiliser leurs connaissances pour expliquer des impacts de l'activité humaine sur la santé et l'environnement.

La géographie amène également les élèves à comprendre l'impératif d'un développement durable de l'habitation humaine de la Terre.

En éducation physique et sportive, par la pratique physique, les élèves s'approprient des principes de santé, d'hygiène de vie, de préparation à l'effort (principes physiologiques) et comprennent les phénomènes qui régissent le mouvement (principes biomécaniques).

Les mathématiques permettent de mieux appréhender ce que sont les grandeurs (longueur, masse, volume, durée, etc.) associées aux objets de la vie courante. En utilisant les grands nombres (entiers) et les nombres décimaux pour exprimer ou estimer des mesures de grandeur (estimation de grandes distances, de populations, de durées, de périodes de l'histoire, etc.), elles construisent une représentation de certains aspects du monde. Les élèves

sont graduellement initiés à fréquenter différents types de raisonnement. Les recherches libres (tâtonnements, essais-erreurs) et l'utilisation des outils numériques les forment à la démarche de résolution de problèmes. L'étude des figures géométriques du plan et de l'espace à partir d'objets réels apprend à exercer un contrôle des caractéristiques d'une figure pour en établir la nature grâce aux outils de géométrie et non plus simplement par la reconnaissance de forme.

Domaine 5 : Les représentations du monde et l'activité humaine

C'est à l'histoire et à la géographie qu'il incombe prioritairement d'apprendre aux élèves à se repérer dans le temps et dans l'espace. L'enseignement de l'histoire a d'abord pour intention de créer une culture commune et de donner une place à chaque élève dans notre société et notre présent. Il étudie des moments historiques qui construisent l'histoire de France, l'inscrivent dans l'histoire de l'humanité et sensibilisent les élèves aux phénomènes de longue durée. L'enseignement de la géographie aide l'élève à penser le monde. Il lui permet aussi de vivre et d'analyser des expériences spatiales et le conduit à prendre conscience de la dimension géographique de son existence. Il participe donc de la construction de l'élève en tant qu'habitant.

L'enseignement des mathématiques, des sciences et de la technologie contribue également à développer des repères spatiaux et temporels en faisant acquérir aux élèves des notions d'échelle, en différenciant différentes temporalités et en situant des évolutions scientifiques et techniques dans un contexte historique, géographique, économique ou culturel. Cet enseignement contribue à relier des questions scientifiques ou technologiques à des problèmes économiques, sociaux, culturels, environnementaux, sanitaires.

L'histoire-géographie, les sciences et la technologie et l'enseignement moral et civique, par leur contribution à l'éducation au développement durable, participent à la compréhension des effets des activités humaines sur l'environnement.

En français, la fréquentation des œuvres littéraires, écoutées ou lues, mais également celle des œuvres théâtrales et cinématographiques, construisent la culture des élèves, contribuent à former leur jugement esthétique et enrichissent leur rapport au monde. De premiers éléments de contextualisation sont donnés et les élèves apprennent à interpréter.

L'enseignement des langues vivantes intègre les spécificités culturelles des pays ou régions concernés et construit une culture humaniste. Il invite les élèves à découvrir des traces, des éléments de l'histoire du/des pays ou régions dont on apprend la langue, les expose à des expériences artistiques variées (arts plastiques, musique, cinéma, littérature enfantine, traditions et légendes, etc.) et à la sensibilité humaine dans sa diversité ; il leur fait prendre conscience des modes de vie, des us et coutumes, des valeurs de la culture étrangère ou régionale, qui est ainsi mise en regard avec leur propre culture.

L'enseignement des arts apprend aux élèves à identifier des caractéristiques qui inscrivent l'œuvre dans une aire géographique ou culturelle et dans un temps historique, contemporain, proche ou lointain. Il permet de distinguer l'intentionnel et l'involontaire, ce qui est contrôlé et ce qui est le fruit du hasard, de comprendre le rôle qu'ils jouent dans les démarches créatrices et d'établir des relations entre des caractéristiques formelles et des contextes historiques. Par l'enseignement de l'histoire des arts, il accompagne l'éducation au fait historique d'une perception sensible des cultures, de leur histoire et de leurs circulations. En arts plastiques**,** en éducation musicale et en français, les élèves organisent l'expression d'intentions, de sensations et d'émotions en ayant recours à des moyens choisis et adaptés.

En éducation physique et sportive, les élèves se construisent une culture sportive. Ils découvrent le sens et l'intérêt de quelques grandes œuvres du patrimoine national et mondial, notamment dans le domaine de la danse.

Sciences et technologie *(programme modifié à la rentrée 2023)*

Préambule

L'enseignement des sciences et de la technologie, dès le plus jeune âge, est indispensable pour préparer les élèves à leur vie de citoyen dans un monde où les sciences et la technologie occupent une place prépondérante.

L'organisation des apprentissages au cours des différents cycles de la scolarité obligatoire est pensée de manière à introduire de façon progressive des notions et des concepts dont l'assimilation nécessite du temps. Aux cycles 1 et 2, les élèves ont exploré, observé et questionné le monde qui les entoure. Au cycle 3, en revisitant les notions et les concepts déjà abordés, ils progressent dans la conceptualisation et s'initient à la modélisation. Ils enrichissent leur culture scientifique et technologique, ce qui contribue à les éduquer à la citoyenneté au regard de la place des sciences et de la technologie dans la société.

La construction de savoirs et de compétences scientifiques et technologiques s'appuie sur des démarches variées qui mettent en œuvre notamment l'observation, la manipulation, l'expérimentation, la modélisation, l'argumentation, la documentation, l'enquête indispensables à la pratique des sciences et de la technologie. L'enseignement des sciences et de la technologie contribue à donner aux élèves une représentation cohérente et raisonnée du monde qui les entoure, de son fonctionnement et de son histoire. À ce titre, l'étude du réel et la confrontation des idées et des hypothèses aux observations et aux résultats d'expériences jouent un rôle fondamental. En effet, lorsqu'un discours contredit les faits issus d'expériences et d'observations, les démarches scientifiques donnent la primauté aux faits, en assurant leur fiabilité par le test de leur reproductibilité et de leur robustesse.

La pratique de la démarche scientifique concourt à la mise en cohérence de faits, l'identification de paramètres pertinents, l'élaboration de concepts et la construction de modèles et de théories. La pensée scientifique n'a de cesse d'osciller d'une part entre le monde réel et ses représentations (comme les modèles), et d'autre part entre des cas particuliers et des formulations générales (comme des lois). Les cas particuliers servent à la fois à éprouver les lois générales et à inspirer les recherches futures. Il s'agit d'amener les élèves à exercer leur capacité à raisonner, à développer leur esprit critique et à distinguer le registre de la connaissance scientifique qui repose sur des faits éprouvés de celui de la croyance ou de la simple opinion. Prendre en compte les conceptions initiales des élèves constitue souvent une stratégie pédagogique féconde pour confronter leurs idées, dégager un problème scientifique à résoudre collectivement, dépasser le sens commun et aller au-delà des intuitions premières, souvent trompeuses, en les confrontant aux faits.

La pratique de la démarche technologique est un autre volet important de la formation des élèves. Les objets et les systèmes techniques répondent à des besoins auxquels la nature ne fournit pas de solution immédiate ou aisément accessible. Leur étude doit par conséquent être mise en relation avec les besoins humains et tenir compte des enjeux de la transition écologique et du développement durable. La production d'une solution technique par les élèves eux-mêmes, par exemple par la réalisation d'une maquette, est vivement encouragée. Il s'agit d'identifier plusieurs solutions à un problème technique et d'amener les élèves à faire un choix raisonné et argumenté de la solution la plus adaptée aux besoins. La réalisation d'un projet est recommandée, car elle permet d'engager les élèves dans la démarche technologique, mais aussi de faire un lien entre les différentes thématiques du programme.

L'enseignement des sciences et de la technologie offre l'occasion de développer des compétences langagières partagées, mais aussi de pratiquer des formes langagières

spécifiques. Il permet de travailler la communication à l'oral - prise de parole en classe, écoute de l'autre et formulation d'arguments et de contre-arguments dans le cadre de débats argumentés, présentation orale de ses travaux, etc. - et à l'écrit - écrit de travail, écrit de synthèse, représentations graphiques (croquis, dessin ou schéma), réalisation d'affiches pédagogiques, etc. À cet égard, peuvent être envisagées dans le cadre de cet enseignement des activités conçues autour de la précision du vocabulaire scientifique et technique, du lien à établir entre le terme, la notion ou le concept, et de la distinction à faire entre les mots de la langue commune et ceux des discours spécialisés.

L'enseignement des sciences et de la technologie offre la possibilité, dans des contextes concrets, de donner du sens aux notions mathématiques. Il offre également un cadre propice à l'installation des premiers éléments d'une culture numérique, devenue indispensable dans la société actuelle, et qui se construit tout au long du parcours de l'élève. Il participe à la construction d'un ensemble de savoirs, de savoir-faire et de savoir-être dans lequel s'enracinent les éducations transversales à la santé, à la sexualité, aux médias et à l'information, à la préservation de l'environnement et au développement durable. Cet enseignement contribue au développement de compétences psychosociales (émotionnelles, sociales et cognitives) par la pratique collaborative du travail en groupe, le respect de la pensée d'autrui, la prise en compte des émotions que suscite un rapport sensible à la nature ou encore l'exercice de la pensée critique.

Afin de répondre à ces objectifs, le professeur propose aux élèves des tâches variées : des observations, la conception et la réalisation d'expériences, le test de solutions technologiques, l'étude de documents, l'interview de scientifiques ou de professionnels, des élevages ou des cultures, etc. En réalisant des activités expérimentales, les élèves découvrent les notions de variabilité et de reproductibilité des mesures. Les élèves sont initiés aux contraintes d'une communication efficace avec leurs pairs, contraintes partagées par les scientifiques, par exemple grâce au recueil de données, à la rédaction de comptes-rendus, etc. Le professeur veille à encourager le questionnement des élèves et à susciter leur curiosité, au cœur de l'activité scientifique et technologique. Les situations choisies visent l'implication des élèves. La mise en activité authentique des élèves conditionne leur engagement et l'acquisition de connaissances. L'explicitation par le professeur des démarches mises en œuvre et des savoirs à mémoriser leur donne du sens et participe à la construction pérenne des apprentissages.

Afin de faciliter sa mise en œuvre, le programme est structuré en quatre thématiques interdépendantes dont les objectifs d'apprentissage sont explicités. Deux ensembles de connaissances et de compétences sont présentés sous la forme d'un socle exigible en fin de cours moyen et d'un autre exigible en fin de sixième, et synthétisés par des attendus de fin de cycle pour chacune des parties. Dans le cadre de l'exercice de sa liberté pédagogique, le professeur peut compléter ces apprentissages par toute activité formatrice qui lui semblerait pertinente. Les quatre thématiques retenues sont les suivantes : « matière, mouvement, énergie et information », « le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent », « les objets techniques au cœur de la société », « la Terre, une planète peuplée par des êtres vivants ». Consolidée en classe de sixième au travers des applications des notions scientifiques abordées, la culture technologique se nourrit de la mise en relation des concepts scientifiques et de leurs applications technologiques présentes dans le quotidien des élèves. Le tableau suivant établit le lien entre les principales compétences travaillées et les cinq domaines du socle. Il s'agit d'engager les élèves de cycle 3 dans le travail des compétences listées dans ce tableau. Cet apprentissage, long et progressif, doit se faire sur l'ensemble de leur scolarité.

Compétences travaillées	Domaines du socle
Pratiquer des démarches scientifiques et technologiques • Formuler une question ou un problème scientifique ou technologique. • Formuler des hypothèses fondées et qui peuvent être éprouvées. • Concevoir et mettre en œuvre des expériences ou d'autres stratégies de résolution pour tester ces hypothèses. • Proposer et/ou suivre un protocole expérimental. • Participer à l'élaboration et à la conduite d'un projet. • Utiliser des instruments d'observation, de mesure, des techniques de préparation, de collecte. • Exploiter des documents de natures variées et évaluer leur fiabilité. • Modéliser des phénomènes naturels. • Étudier les phénomènes naturels en mobilisant des grandeurs physiques et en réalisant des calculs. • Interpréter des résultats de façon raisonnée et en tirer des conclusions en mobilisant des arguments scientifiques. • Communiquer sur les démarches, les résultats et les choix en argumentant.	Domaine 2 Les méthodes et les outils pour apprendre Domaine 4 Les systèmes naturels et les systèmes techniques
Concevoir, créer, réaliser • Imaginer un objet technique en réponse à un besoin. • Associer des solutions technologiques à des fonctions techniques. • Concevoir et réaliser une maquette pour modéliser un phénomène naturel ou un objet technique.	Domaine 4 Les systèmes naturels et les systèmes techniques
Pratiquer des langages • Rendre compte de ses activités en utilisant un vocabulaire précis et des formes langagières spécifiques des sciences et des techniques. • Exploiter un document constitué de divers supports (texte, schéma, graphique, tableau, algorithme simple, carte heuristique). • Utiliser différents modes de représentation (schéma, dessin, croquis, tableau, graphique, texte, etc.) et passer d'une représentation à une autre. • Expliquer un phénomène à l'oral et à l'écrit.	Domaine 1 Les langages pour penser et communiquer
Mobiliser des outils numériques • Utiliser des outils numériques pour : – communiquer des résultats ; – faire des recherches ; – traiter des données ; – simuler des phénomènes. • Appliquer les principes de l'algorithmique et de la programmation par blocs pour écrire ou comprendre un code simple. • Modifier ou paramétrer le fonctionnement d'un objet communicant.	Domaine 2 Les méthodes et les outils pour apprendre

Adopter un comportement éthique et responsable • Relier des connaissances acquises en sciences et technologie à des questions de santé, de sécurité et d'environnement. • Comprendre et expliquer des décisions collectives et responsables.	Domaine 3 La formation de la personne et du citoyen Domaine 5 Les représentations du monde et l'activité humaine
Se situer dans l'espace et dans le temps • Maîtriser les notions d'échelle spatiale et temporelle et en citer quelques ordres de grandeur caractéristiques. • Identifier comment se construit un savoir scientifique en lien avec un contexte historique, géographique, économique et culturel.	Domaine 5 Les représentations du monde et l'activité humaine
Faire preuve d'esprit critique • Identifier des sources d'informations fiables. • Vérifier l'existence de preuves et en évaluer la qualité. • Évaluer la pertinence des arguments et/ou identifier des arguments fallacieux. • Distinguer ce qui relève d'une croyance de ce qui constitue un savoir scientifique.	Domaine 2 Les méthodes et outils pour apprendre Domaine 4 Les systèmes naturels et les systèmes techniques

Matière, mouvement, énergie, information

États et constitution de la matière à l'échelle macroscopique

L'observation, à l'échelle macroscopique, de quelques propriétés de la matière vise à consolider les connaissances acquises au cycle 2. L'activité expérimentale constitue dans ce domaine le support privilégié pour favoriser la compréhension des concepts en jeu. La réalisation de dispositifs simples par les élèves eux-mêmes (par exemple à l'aide d'éléments de jeux de construction, de poulies, d'engrenages, de cordelettes, etc.) permet de développer leur créativité et leur dextérité. Les matériaux et la matière présents dans leur environnement proche peuvent aussi être mobilisés de façon prioritaire pour les activités expérimentales, en particulier l'eau, ce qui permet de les sensibiliser à la préservation de cette ressource essentielle.

La réalisation de mesures quantitatives, en lien avec l'enseignement des mathématiques, permet une meilleure appropriation de la spécificité de chaque grandeur envisagée et de l'importance des unités correspondantes. Elle permet également une première approche des concepts de variabilité et de reproductibilité des mesures réalisées, notions essentielles dans la mise en œuvre d'activités expérimentales.

Les mesures de masse et de volume, puis l'exploitation de la relation de proportionnalité entre la masse et le volume d'un même corps homogène, préparent l'introduction du concept de masse volumique au cycle 4.

L'étude des mélanges offre l'occasion de mettre en œuvre des techniques de tri et de séparation dans le cadre de l'éducation au développement durable. La séparation par évaporation trouve une application immédiate dans la récolte du sel, et permet d'aborder les problématiques de la désalinisation de l'eau de mer et de la disponibilité de l'eau potable.

Certains mélanges peuvent conduire à des transformations chimiques : dans cette optique, il importe de sensibiliser les élèves aux contraintes de sécurité relatives à l'usage de certains produits présents dans leur environnement quotidien, comme les produits ménagers.

Attendus de fin de cycle

- Décrire un échantillon de matière à l'aide du vocabulaire scientifique et des grandeurs physiques : masse, volume.
- Caractériser la diversité de la matière et de ses transformations à l'échelle macroscopique.
- Utiliser les propriétés physiques des matériaux pour les classer, notamment à des fins de tri.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
Propriétés de la matière • Distinguer les matériaux fabriqués ou transformés par l'être humain des matériaux directement disponibles dans la nature. • Différencier les états physiques solide (forme et volume propres), liquide (volume propre et absence de forme propre) et gazeux (ni forme propre ni volume propre). • Observer des changements d'état physique et leur réversibilité. • Identifier les différents états physiques de la matière dans la nature, en particulier ceux de l'eau.	**Propriétés de la matière** • Rechercher des informations relatives à la durée de décomposition dans la nature de quelques matériaux usuels (objets métalliques, papiers et cartons, plastiques, verres) pour connaître leurs conséquences éventuelles sur l'environnement. • Réaliser des expériences ou exploiter des documents pour comparer et trier différents matériaux sur la base de leurs propriétés physiques (conductivité thermique ou électrique, capacité à interagir avec un aimant). • Mesurer des températures de changement d'état. • Relever l'évolution de la température au cours du temps lors du refroidissement ou de l'échauffement d'un corps et identifier les éventuels paliers de température lors des changements d'état.
Masse et volume • Comparer les masses de différents corps à l'aide d'un dispositif simple qui peut être conçu par les élèves (poulie et cordelette, balance romaine, à fléau, à plateaux). • Mesurer la masse d'un solide ou d'un liquide à l'aide d'une balance, en tarant la balance le cas échéant. • Effectuer des conversions d'unités de masse (en se limitant à des unités usuelles : tonne, quintal, kilogramme, gramme et milligramme).	**Masse et volume** • Mesurer un volume de gaz par déplacement de liquide. • Effectuer des conversions d'unités de masse et de volume. • Comparer et mesurer les masses de corps différents, mais de même volume et réciproquement. • Exploiter la relation de proportionnalité entre masse et volume d'un corps homogène. • Mettre en évidence expérimentalement un critère pour prévoir la position respective

• Mesurer le volume d'un liquide et mesurer celui d'un solide par déplacement de liquide.	de deux couches liquides non miscibles superposées (comparaison de leurs masses pour un même volume).
Mélanges • Séparer les constituants d'un mélange de solides ou d'un mélange solide-liquide par tamisage, décantation, filtration. • Observer que certains solides peuvent se dissoudre dans l'eau et qu'il est possible de les récupérer par évaporation. • Mettre en évidence expérimentalement que la masse totale se conserve lors du mélange d'un solide dans un liquide.	**Mélanges** • Mettre en œuvre une technique de séparation de liquides non miscibles. • Observer le phénomène de saturation lors du mélange d'un solide dans l'eau et en rendre compte quantitativement. • Rechercher et exploiter des informations relatives à la composition de l'air et citer des gaz qui contribuent à l'effet de serre. • Réaliser un mélange pour lequel les changements observés peuvent être interprétés par une transformation chimique (changement de couleur, production d'un gaz, etc.). • Réaliser un mélange où se produit une transformation chimique. • Mettre en évidence la consommation des réactifs ou la formation des produits lors d'une transformation chimique (changement de couleur, production d'un gaz, etc.). • Rechercher et exploiter des informations sur les contraintes de sécurité relatives à la manipulation des produits ménagers et sur les conséquences de ces produits sur l'environnement. • Associer les pictogrammes de sécurité visibles dans le laboratoire de chimie aux dangers et aux risques qui leur correspondent.

Différents types de mouvement

L'étude du mouvement d'un objet nécessite toujours la mention du point de vue selon lequel ce mouvement est décrit et caractérisé. Le professeur veille donc à systématiser la formulation « par rapport à » ou « du point de vue de » pour initier les élèves au caractère relatif du mouvement, sujet qui sera approfondi au cycle 4. Par exemple, on précise que « le Soleil décrit une courbe dans le ciel du point de vue de la cour de récréation », que « le train se déplace en ligne droite par rapport à une personne sur le quai de la gare », ou encore qu'« un point coloré sur une toupie ou un disque décrit un cercle par rapport à l'axe de rotation », etc. Le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil, du point de vue héliocentrique, et le mouvement de rotation de la Terre par rapport à l'axe des pôles sont introduits pour définir la durée d'une année et la durée d'un jour. Le recours à l'histoire des sciences, à la modélisation, prenant appui sur la réalisation de dispositifs ou de maquettes

simples, est encouragé afin de favoriser l'appropriation de ces mouvements par les élèves et la compréhension des méthodes d'élaboration des savoirs scientifiques.

En lien avec l'enseignement des mathématiques sont proposées des activités de mesure de distances, de durées (la durée est définie comme l'intervalle entre deux instants), et de vitesse. Les robots motorisés programmables peuvent constituer un support pertinent pour la réalisation de ces activités. En classe de sixième, seul le calcul de la valeur de la vitesse à partir de la distance parcourue et de la durée de déplacement dans le cas d'un mouvement uniforme est exigible. L'exploitation plus générale de la relation entre vitesse, distance et durée relève du cycle 4.

Attendus de fin de cycle

- Décrire un mouvement en précisant le point de vue.
- Caractériser un mouvement par des mesures.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
Mouvements • Observer et identifier le mouvement rectiligne ou circulaire d'un objet, en précisant le point de vue. • Mesurer une distance lors du déplacement d'un objet. • Mesurer une durée, comme intervalle entre deux instants, lors du déplacement d'un objet. • Effectuer des conversions d'unités de distance et de temps.	**Mouvements** • Calculer la valeur de la vitesse à partir de la distance parcourue et de la durée de déplacement dans le cas du mouvement uniforme d'un objet par rapport à un observateur. • Observer et identifier des situations où la vitesse d'un objet en mouvement par rapport à un observateur a une valeur constante ou variable. • Effectuer des conversions d'unités de distance et de temps, en particulier dans le contexte du mouvement de révolution des planètes autour du Soleil. • Associer la durée d'une année au mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil, du point de vue héliocentrique, et associer la durée d'un jour au mouvement de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles.

Ressources en énergie et conversions d'énergie

Différentes formes d'énergie (de pesanteur, cinétique, chimique, thermique, électrique, nucléaire et lumineuse) sont introduites de façon progressive par le biais de leurs conversions et de leurs transferts dans des contextes concrets : moyens de transport, production d'électricité, applications domestiques, etc.

Afin de préparer les apprentissages ultérieurs, au cycle 4 et au-delà, le professeur veille à distinguer les énergies qui peuvent être stockées (énergies de pesanteur, cinétique, chimique, nucléaire et thermique) de celles qui correspondent à des transferts énergétiques (énergies électrique et lumineuse).

La réalisation de maquettes simples permet de modéliser des dispositifs où interviennent des conversions ou des transferts d'énergie : conversion d'énergie potentielle en énergie cinétique dans un dispositif mécanique (moulin à eau par exemple), conversion d'énergie chimique en énergie cinétique dans un dispositif constitué d'un moteur alimenté par une pile électrique, transfert d'énergie électrique vers une lampe ou un autre appareil électrique alimentés par une pile électrique, etc. On veille à la rigueur du langage utilisé pour rendre compte des conversions et des transferts d'énergie : « au cours de la chute d'un objet, son énergie de pesanteur est convertie en énergie cinétique », « dans un véhicule équipé d'un moteur à essence, de l'énergie chimique est convertie en énergie cinétique », « la Terre reçoit de l'énergie du Soleil par la lumière qu'il émet ». Si la dépendance des énergies de pesanteur et cinétique vis-à-vis de la masse peut être évoquée en cas de besoin à l'occasion des activités proposées, elle ne constitue pas pour autant une connaissance exigible des élèves en fin de cycle 3.

Les élèves sont sensibilisés au caractère renouvelable ou non, à l'échelle temporelle de la vie humaine, des ressources en énergie. L'importance de l'énergie reçue du Soleil pour la vie sur Terre et pour les activités humaines est mentionnée. La recherche d'informations relatives à différentes ressources en énergie et aux conséquences sur l'environnement de leur utilisation (chauffage, moyens de transport, production d'électricité, etc.) s'inscrit dans l'éducation au développement durable. Elle a également pour but d'enrichir la culture scientifique et technique des élèves, de les sensibiliser à la problématique de la fiabilité des sources d'informations et de contribuer à développer leur esprit critique.

Attendus de fin de cycle

- Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans un dispositif de conversion d'énergie.
- Rechercher et exploiter des informations relatives aux ressources en énergie et à leur utilisation en exerçant son esprit critique.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Connaissances et compétences attendues en fin de sixième**
Conversions d'énergie • Réaliser expérimentalement un dispositif de conversion d'énergie. • Identifier différentes formes d'énergie : énergie de pesanteur (dépendant de l'altitude sur Terre), énergie cinétique (liée au mouvement) et énergie électrique, par exemple dans le contexte de la production d'électricité par une centrale hydro-électrique ou une éolienne.	**Conversions d'énergie** • Identifier différentes formes d'énergie (énergies de pesanteur, cinétique, chimique, thermique, électrique, nucléaire et lumineuse) dans des situations variées. • Réaliser expérimentalement un dispositif de conversion d'énergie et en rendre compte par la représentation d'une chaîne énergétique. • Rechercher des informations relatives à différentes ressources en énergie (Soleil, eau, vent, pétrole, bois, charbon, dihydrogène, combustible nucléaire (uranium), etc.) et les différencier selon leur caractère renouvelable ou non à l'échelle temporelle de la vie humaine. • Rechercher des informations relatives à l'utilisation de différentes ressources en

	énergie pour caractériser leurs conséquences sur l'environnement (émission de gaz à effet de serre, production de déchets, etc.).

Signal et information

Au cycle 3, le travail concerne les signaux lumineux et électriques. Les autres types de signaux peuvent être mentionnés en lien avec la transmission d'informations.

La partie relative à la lumière aborde la formation d'ombres dès le cours moyen à partir de l'observation du phénomène. Les connaissances ainsi acquises sont réinvesties en classe de sixième pour modéliser et expliquer l'alternance du jour et de la nuit. La variation des durées du jour et de la nuit au cours des saisons résulte de la variation de l'inclinaison apparente du Soleil pour un observateur placé en un point donné de la surface du globe. Il est par exemple possible, pour un élève en position d'observation, de suivre l'évolution, au cours de plusieurs journées ensoleillées, de l'ombre portée d'un bâton sur le sol, et de comparer les résultats obtenus à différents moments de l'année. Les activités de modélisation qui s'appuient sur la réalisation de dispositifs simples sont encouragées, car elles permettent de s'approprier un phénomène et d'en prévoir les effets.

La notion de circulation du courant électrique dans un circuit, introduite au cycle 2, est consolidée en cours moyen. En classe de sixième, les compétences acquises dans le domaine de l'électricité sont réinvesties pour éprouver la conductivité électrique de certains matériaux (en lien avec l'étude des propriétés de la matière) et pour mettre en œuvre des éléments technologiques simples (capteurs, moteurs électriques miniatures, éléments photovoltaïques par exemple) dans des circuits électriques à une boucle. Un des objectifs d'apprentissage est d'aider les élèves à dépasser une conception circulatoire du courant (courant qui s'épuise ou qui s'use). L'étude des phénomènes électriques s'accompagne d'une sensibilisation des élèves aux risques électriques domestiques.

L'utilisation des signaux lumineux, électriques ou sonores pour transmettre de l'information est illustrée grâce à des applications concrètes (feux de signalisation, voyant de charge d'un appareil, alarme sonore, câbles de communication sous-marins, etc.). Il s'agit aussi d'amener les élèves à mieux appréhender l'environnement technologique dans lequel ils vivent et de les initier à la programmation (en lien avec le thème relatif aux objets techniques).

Attendus de fin de cycle

- Interpréter la formation d'ombres, en particulier dans le contexte du système Soleil-Terre-Lune.
- Mettre en œuvre des circuits électriques à une boucle en respectant des consignes de sécurité.
- Identifier des signaux de natures différentes et citer des applications dans lesquelles un signal permet de transmettre une information.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
Lumière • Observer et classer des objets selon qu'ils sont transparents, opaques à la lumière ou translucides.	**Lumière** • Interpréter l'alternance du jour et de la nuit du point de vue d'un observateur sur Terre, en s'appuyant sur une modélisation du

• Produire expérimentalement une ombre (déficit de lumière associé à une source) à l'aide d'un objet opaque et distinguer ombre propre et ombre portée. • Observer, schématiser et nommer les phases de la Lune. • Réaliser des ombres et associer leurs positions à celles de la source lumineuse et de l'objet opaque.	phénomène. • Associer l'alternance des saisons à l'inclinaison du Soleil et à la durée du jour pour un observateur sur la Terre.
Électricité • Réaliser un circuit électrique à une boucle associant un générateur (pile), un interrupteur, un ou deux récepteurs (lampes à incandescence) pour mettre en évidence la circulation du courant électrique. • Rechercher des informations sur les règles de sécurité électrique et les prendre en compte dans son activité.	**Électricité** • Mettre en évidence expérimentalement la possibilité d'intervertir les positions des composants d'un circuit à une boucle. • Mettre en œuvre un circuit électrique à une boucle avec un convertisseur d'énergie (moteur, élément photovoltaïque, etc.). • Mettre en œuvre un circuit électrique à une boucle avec un capteur (de température, d'éclairement, de mouvement, etc.). • Donner une représentation schématique normalisée du circuit électrique réalisé. • Rechercher des informations sur les règles de sécurité électrique et les prendre en compte dans son activité.
	Transmission de l'information • Identifier différents signaux pour transmettre de l'information (signal sonore, lumineux, électrique, etc.). • Citer quelques applications des signaux pour transmettre de l'information.

Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent

Panorama du monde vivant
L'enjeu est de donner aux élèves des clés de compréhension du monde vivant par une approche scientifique et sensible de sa diversité et de son unité. Ce thème permet de comprendre l'importance, en sciences, de l'observation et des différents modes de représentation graphique (croquis, dessins, schémas) et d'engager les élèves dans ces pratiques. La classification des êtres vivants permet d'ordonner la grande diversité des formes de vie sur Terre à partir d'un raisonnement scientifique. Elle offre l'occasion d'introduire la notion de parenté entre les êtres vivants qui sera mise en relation au cycle 4 avec les mécanismes d'évolution biologique. Pour cela, un petit nombre d'exemples sont étudiés au cours moyen, puis le champ d'études s'élargit en classe de sixième. La classification est clairement

distinguée des activités d'identification effectuées à l'aide de clés de détermination. L'étude de la biodiversité peut, avec profit, s'appuyer sur la participation à des projets de sciences citoyennes ou participatives (comme Vigie-Nature École) qui conduit à mieux connaître des partenaires de l'école tout en contribuant à la recherche scientifique.

La biodiversité observée dans le passé, évoquée au travers de groupes emblématiques (comme les dinosaures par exemple), permet d'appréhender le temps long et de poser les premiers jalons pour dépasser une conception fixiste du vivant. Elle est également l'occasion de distinguer les savoirs scientifiques – qui reposent sur des faits éprouvés – des croyances ou de la simple opinion.

Attendus de fin de cycle

- Caractériser la richesse, l'unité et la diversité actuelle et passée du vivant.
- Classer les organismes et établir les liens de parenté.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
Organisation des êtres vivants • Distinguer (par l'observation) les différents niveaux d'organisation des êtres vivants (organisme, appareil, organe) à partir de deux exemples (plante à fleurs et animal).	**Organisation des êtres vivants** • Réaliser et représenter des observations microscopiques de cellules (issues de tissus animaux et végétaux, et d'organismes unicellulaires). • Identifier la cellule comme l'unité structurale commune à tous les êtres vivants.
Classification du vivant • Réaliser une classification en groupes emboités pour mettre en évidence des liens de parenté à partir d'un petit nombre d'espèces possédant des attributs identifiés.	**Classification du vivant** • Mettre en relation différents types de classification des êtres vivants (utilitaire, écologique, phylogénétique, etc.) et les objectifs de chacun. • Classer et établir des parentés à partir de collections d'espèces appartenant à différentes branches de l'arbre du vivant, en utilisant notamment des bases de données numériques. • Lire et interpréter des arbres de parenté simples.
Biodiversité actuelle et passée • Déterminer des espèces biologiques de l'environnement proche en utilisant une clé de détermination. • Caractériser le changement de la biodiversité au cours de l'histoire de la Terre par l'exploitation de fossiles. • Distinguer différentes échelles de temps : l'échelle des temps géologiques (notion de	**Biodiversité actuelle et passée** • Caractériser la diversité intraspécifique et discuter des attributs utilisés pour regrouper les individus au sein d'une espèce. • Déterminer des espèces biologiques actuelles ou fossiles, en utilisant une clé de détermination. • Exploiter la reconstitution d'un paléoenvironnement en un lieu donné

temps long) et celle de l'histoire de l'être humain. • Placer plusieurs espèces actuelles et fossiles sur une échelle des temps.	afin de comparer la biodiversité actuelle et passée. • Exploiter des documents pour mettre en évidence l'existence de grandes crises biologiques à placer sur une échelle des temps.

Alimentation humaine

Cette partie introduit les bases physiologiques de l'alimentation dans une perspective d'éducation à la santé. En classe de sixième, l'accent est mis sur les microorganismes et leur rôle dans la production et la conservation des aliments, en s'appuyant sur les acquis du cours moyen. L'étude des microorganismes permet de remobiliser les principes élémentaires d'hygiène étudiés en cycle 2 (lavage des mains, stérilisation, etc.). Une transformation alimentaire est réalisée en classe (fabrication du pain ou du yaourt par exemple) et permet d'identifier des paramètres d'influence dont la connaissance est exploitée pour obtenir une certaine qualité du produit. Elle induit la mise en œuvre de tout ou partie de la démarche biotechnologique. Des sorties et des rencontres avec des professionnels (boulanger, exploitant agricole, entreprise agroalimentaire, etc.) permettent de faire découvrir des métiers.

Attendus de fin de cycle

- Expliquer le rôle des aliments pour le fonctionnement de l'organisme.
- Identifier les principes des technologies mises en œuvre pour transformer et conserver les aliments.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
Besoins alimentaires et nutrition humaine • Exploiter des données mettant en évidence le besoin de matière pour la croissance et le développement des êtres vivants. • Exploiter des données pour expliquer la variation des besoins alimentaires au cours de la croissance et selon l'activité physique. • Identifier et localiser la transformation des aliments dans l'appareil digestif (mastication par les dents, changements de texture lors du trajet). • Identifier le rôle de la circulation sanguine dans l'approvisionnement des organes. • Citer quelques comportements alimentaires et règles d'hygiène favorables à la santé (équilibre alimentaire, qualité sanitaire des aliments, brossage des dents, etc.).	**Besoins alimentaires et nutrition humaine** • Rechercher et exploiter des informations sur l'alimentation humaine pour identifier des comportements favorables à la santé (composition d'aliments, adéquation entre les apports et les besoins, etc.). • Relier la diversité des aliments avec les cultures et les sociétés humaines, et leur mode de production.
Production et conservation des aliments • Réaliser une transformation alimentaire (pain ou yaourt par exemple) et identifier son origine biologique (levure ou ferment	**Production et conservation des aliments** • Relier les processus de conservation des aliments et la limitation des risques sanitaires (salaison, conservation au froid,

lactique). • Identifier les processus à l'origine de la production d'aliments par une étude documentaire ou une rencontre avec des professionnels.	stérilisation, etc.). • Réaliser une transformation alimentaire impliquant des microorganismes effectuant une fermentation et identifier certains paramètres d'influence. • Mesurer l'évolution au cours du temps de certains paramètres physico-chimiques à l'aide de capteurs.
Cycle de vie et reproduction des êtres vivants	
Les élèves s'approprient la notion de cycle de vie en réalisant des observations dans leur environnement proche, ou à l'aide de cultures et d'élevages réalisés au sein de la classe ou de l'école. L'étude de la pollinisation, en classe de sixième, s'appuie sur des observations et des données expérimentales. Elle est enrichie par une étude documentaire pour interroger les conséquences de certaines pratiques culturales sur les écosystèmes dans une perspective d'éducation au développement durable. L'étude de la reproduction humaine s'articule avec les trois séances annuelles d'éducation à la sexualité, prenant place de l'école au lycée.	
Attendus de fin de cycle • Décrire le cycle de vie d'une plante à fleurs et celui d'un animal. • Décrire les changements pubertaires chez les êtres humains associés à la capacité de se reproduire. • Identifier la dimension biologique de la sexualité humaine et la distinguer de ses autres dimensions (psycho-émotionnelle, juridique et sociale).	
Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Connaissances et compétences attendues en fin de sixième**
Cycle de vie • Exploiter des observations issues de cultures ou d'élevages pour identifier les différentes étapes d'un cycle de vie (naissance, croissance, reproduction, vieillissement, mort) et les formes associées (graine-plantule-plante fleurie, œuf-embryon-larve ou jeune-adulte).	**Cycle de vie** • Mettre en évidence le rôle de la pollinisation dans la transformation de la fleur en fruit et des ovules en graines. • Illustrer la notion de coopération (interaction mutualiste) avec l'exemple de la pollinisation. • Relier l'évolution de l'abondance de pollinisateurs à ses conséquences sur certaines cultures. • Comprendre l'impact de l'utilisation des pesticides sur l'abondance des pollinisateurs.
Reproduction et sexualité humaine • Nommer les organes reproducteurs étudiés avec le vocabulaire scientifique correspondant.	**Reproduction et sexualité humaine** • Connaître et localiser les principaux organes de l'appareil reproducteur des êtres humains en les associant à leurs

• Décrire et identifier les changements du corps au moment de la puberté et les relier à la capacité à se reproduire.	fonctions. • Caractériser les modifications morphologiques, comportementales et physiologiques de la puberté. • Caractériser les processus impliqués dans la reproduction humaine, en particulier la fécondation interne et le développement vivipare impliquant des échanges placentaires. • Distinguer la notion de reproduction de celle de sexualité humaine (définie dans ses différentes dimensions).

Les objets techniques au cœur de la société

Les objets techniques en réponse aux besoins des individus et de la société	
Si les besoins de l'humanité (habitat, alimentation, reproduction, soins, survie, communication, déplacements), ont fondamentalement peu changé dans le temps, les réponses apportées pour y subvenir ont évolué en s'appuyant notamment sur les progrès accomplis dans la maîtrise des technologies. Cette partie vise à appréhender les liens existant entre les objets créés par l'être humain et les besoins qui en ont motivé la conception et la fabrication, introduisant le souci de continuer « à rendre service » aux individus et à la société tout en veillant à la préservation des ressources utilisées. Les objets techniques abordés au cycle 3 sont des objets matériels ; certains peuvent être connectés entre eux ou disposer de programmes informatiques contribuant à leur fonctionnement.	
Attendus de fin de cycle • **Identifier un besoin exprimé par la société et lui associer des objets techniques permettant d'y répondre.** • **Distinguer un objet technique d'un objet naturel.** • **Repérer les évolutions des objets techniques en fonction de leur contexte d'utilisation.** • **Citer quelques exemples d'objets techniques conçus pour répondre à un besoin spécifique et ayant été détournés de leur usage initial.**	
Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Liens avec les connaissances et compétences abordées en sixième dans les autres thèmes**
Besoin exprimé par l'individu, la société • Identifier des besoins et leur évolution (se déplacer, se chauffer, s'alimenter, etc.). • Identifier le lien entre des besoins et des réponses apportées par les objets techniques.	Les principes de conversion de l'énergie peuvent être replacés dans le contexte de leur utilisation dans des réalisations technologiques existantes (par exemple : panneaux solaires, éoliennes, centrales hydro-électriques).

Évolution technologique (innovation, invention, principe technique, approche environnementale) • Repérer les évolutions d'un objet dans différents contextes (historique, géographique, économique, culturel, technologique) ; par exemple l'évolution du transport ferroviaire (matériel et usages) depuis son apparition jusqu'à aujourd'hui. • Comparer des réponses à des besoins dans différents contextes ; par exemple se déplacer en milieu urbain ou rural. • Citer des cas de détournement d'usage d'objets. Justifier une réflexion éthique lors de la conception ou de la fabrication de certains objets techniques.	Les actions humaines peuvent avoir des conséquences positives ou négatives sur l'environnement. On pourra identifier des solutions technologiques permettant de répondre aux besoins de la société tout en préservant les ressources de la planète (meilleure isolation thermique des bâtiments, transports en commun, etc.).
Description du fonctionnement et de la constitution d'objets techniques	
L'objectif de cette partie est de permettre aux élèves de décrire les objets techniques de leur quotidien. Si la précédente partie s'intéressait davantage au « pourquoi » de l'existence et de l'évolution des objets, il s'agit ici de comprendre « comment » un objet répond à un besoin. À partir d'exemples simples, comme celui d'une lampe de bureau, l'objet est décomposé en plusieurs sous-ensembles (ampoule, interrupteur, cordon électrique, etc.), chacun jouant un rôle précis (éclairer, allumer/éteindre, transporter l'énergie électrique, etc.). Cette partie vise ainsi à établir les liens entre les solutions technologiques et les fonctions techniques qu'elles assurent, et permettre aux élèves de les décrire par des croquis ou des schémas adaptés.	
Attendus de fin de cycle • Distinguer besoins, fonctions techniques et solutions technologiques. • Décrire un objet technique par un schéma (représentation du fonctionnement de l'objet) et un croquis (ce que l'on observe).	
Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Liens avec les connaissances et compétences abordées en sixième dans les autres thèmes**
Besoins et fonctions techniques • Distinguer un besoin et les fonctions techniques réalisées par un objet technique. • Identifier les fonctions assurées par un objet technique.	
Solutions technologiques • Associer les solutions technologiques aux fonctions techniques. • Identifier les matériaux utilisés.	Mettre en lien le choix des matériaux avec les propriétés de la matière (propriétés chimiques et propriétés physiques : thermique, électrique, etc.). L'étude des mouvements peut être réalisée en prenant appui sur des objets techniques dont les mouvements relatifs des différentes

	parties sont étudiés (par exemple : système de poulies, ascenseur).
Représentation des objets techniques • Représenter graphiquement à l'aide de croquis à main levée les éléments d'un objet technique. • Identifier les sous-ensembles constituant un objet technique. • Décrire à l'aide d'un schéma le fonctionnement d'un objet technique.	Indispensable dans la démarche technologique, la représentation schématique, non obligatoirement normée, soutient la recherche d'idées dans toutes les disciplines scientifiques et reste une étape indispensable à toute matérialisation d'une solution.

Démarche de conception et de réalisation d'un objet technique

Au cycle 3, les élèves sont initiés à la démarche technologique, dont l'apprentissage est approfondi au cycle 4.

Elle se développe dans un projet technologique allant de la prise de conscience d'un besoin jusqu'à la proposition de solutions techniques adaptées. On encourage la créativité des élèves, leur permettant de prendre conscience qu'à un problème peuvent correspondre plusieurs solutions. Cela leur permet d'apprendre à critiquer une solution de façon raisonnée et objective, et à expliciter leurs choix pour répondre aux besoins tout en prenant notamment en compte les conséquences de ces choix sur l'environnement (la notion de cycle de vie d'un objet technique est ici essentielle).

Cette approche sous forme de projet mené en groupe s'appuie sur la collaboration et la communication entre les élèves. Ils sont amenés à participer à l'organisation et à la planification de leur travail, à se répartir les tâches et à apprendre à compter les uns sur les autres. Ces compétences d'organisation du travail gagnent à être réinvesties dans tout autre projet.

Attendus de fin de cycle

- Décrire et pratiquer la démarche technologique dans le cadre d'un projet.
- Participer à un travail collectif.
- Identifier les liens entre des choix de conception et leurs effets sur les étapes du cycle de vie d'un objet technique.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Liens avec les connaissances et compétences abordées en sixième dans les autres thèmes**
Problème technique • Rechercher des idées de solutions à l'aide de schémas ou de croquis pour résoudre un problème technique donné. • Comparer des solutions par une analyse critique (notamment dans le cadre de la transition écologique et du développement durable).	Les instruments utilisés lors de démarches scientifiques dans l'étude de la matière, du mouvement, du vivant pourront être exploités dans une approche comparative ; par exemple les différents types de balances, les différences entre loupes et microscopes, etc.

Notion de contrainte (imperméabilité, poids, autonomie, etc.) • Prendre en compte une contrainte dans la recherche de solutions. • Choisir un matériau en fonction de ses propriétés physiques. • Exploiter les formes d'énergie disponibles ; par exemple le système de chauffage d'un refuge de haute montagne ou d'un appartement en milieu urbain.	Les caractéristiques physiques et chimiques d'un matériau sont mises en relation avec leur intérêt technologique dans la conception d'un objet technique (en lien avec le thème « matière, mouvement, énergie, information »). La notion de contrainte peut s'illustrer dans différents processus, par exemple l'étude de la production et de la conservation des aliments (en lien avec le thème « Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent »).
Cycle de vie de l'objet technique • Identifier les différentes étapes du cycle de vie d'un objet technique. • Effectuer des choix raisonnés en fonction des conséquences environnementales.	Propriétés de la matière (décomposition des matériaux) : l'étude des propriétés de la matière pourra être mise en relation avec le cycle de vie des objets techniques.
Processus de réalisation de maquettes • Organiser le travail de réalisation d'une maquette (répartition des tâches, coopération, communication, préparation du travail, prise en compte des consignes de sécurité). • Planifier le travail au sein de l'équipe. • Participer au déroulement du projet. • Réaliser des maquettes simples pour matérialiser une solution. • Vérifier que la solution répond au problème posé.	Les compétences d'organisation du travail peuvent être réexploitées dans le cadre de démarches expérimentales mobilisées dans les trois autres thématiques du programme.

Programmation d'objets techniques

La technologie intègre aujourd'hui l'informatique qui permet d'apporter de nouvelles fonctionnalités à certains objets. Quand les objets techniques sont reliés entre eux par des réseaux (objets communicants, transmission et traitement de données, etc.), les systèmes techniques où ils s'insèrent sont également transformés. Ainsi, le chauffage d'un logement s'adapte automatiquement à la température extérieure, mais également à l'occupation du logement, ou encore des drones parviennent à livrer des colis de façon semi-autonome. Les programmes informatiques sont au cœur de ces systèmes techniques « augmentés ». Cette partie du programme vise à initier les élèves à la programmation d'objets techniques à l'aide de langages de programmation par blocs. La programmation se limite à des algorithmes simples : organiser un ensemble de consignes (par exemple, pour un robot : avancer, tourner, s'arrêter), recueillir des informations (détecter un obstacle, détecter un niveau de batteries faible) pour accomplir la tâche souhaitée. L'apprentissage de la programmation sera avantageusement traité par le biais de défis, par exemple robotiques, permettant de présenter les notions de programmation dans une approche ludique et motivante pour les élèves.

Attendus de fin de cycle • Repérer la chaîne d'information et la chaîne d'action d'un objet programmable. • Programmer un objet technique pour obtenir un comportement attendu.	
Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Liens avec les connaissances et compétences abordées en sixième dans les autres thèmes**
Les objets programmables • Identifier la chaîne d'information et d'action (exemple d'un éclairage public intelligent : détecteur de présence, boîtier de contrôle, relais de commande d'éclairage, etc.). • Repérer les capteurs et les actionneurs (moteur électrique, etc.) présents dans un objet programmable (par exemple un robot).	L'exploitation d'objets programmables tels que des robots permet d'aborder les circuits électriques avec convertisseurs d'énergie (les moteurs des robots par exemple) et capteurs (utilisés pour détecter la présence d'obstacles, ou un niveau de luminosité réduit en fin de journée, etc.).
Algorithmes et programmation • Coder un algorithme simple agissant sur le comportement d'un objet technique (déplacement d'un robot, fonctionnement d'un système d'éclairage, etc.). • Comprendre un programme simple et le traduire en langage naturel. • Critiquer un programme au regard du comportement de l'objet programmé ; par exemple : comparaison de différents programmes permettant à un robot de parcourir un trajet comportant des obstacles en un temps minimum.	

La Terre, une planète peuplée par des êtres vivants

La Terre, une planète singulière et active
Ce thème permet d'appréhender le caractère singulier de la Terre, planète active peuplée par des êtres vivants. La Terre est dotée d'enveloppes fluides en mouvement (atmosphère et océan). L'un des enjeux est de distinguer la météorologie du climat, en pointant la différence d'échelles spatio-temporelles entre les deux notions. Les élèves de cours moyen réalisent et exploitent des mesures météorologiques locales dans l'école, ce qui permet de travailler sur l'importance des mesures en science. Puis, en classe de sixième, l'attention est portée sur le réchauffement climatique global récent et les arguments scientifiques accessibles aux élèves. Les conséquences des changements sont abordées dans le cadre d'une éducation au développement durable, engageant les élèves à s'investir dans des actions et des projets concrets tout au long de leur scolarité. L'activité de la Terre est mise en relation avec la production de ressources exploitables par l'être humain. Elle est également reliée à la notion de risque naturel, étudiée à partir d'un seul exemple porteur de sens pour les élèves. Selon l'exemple choisi et le contexte local, il gagnera

à être abordé en lien avec le plan particulier de mise en sûreté (PPMS) face aux risques majeurs. La balance bénéfices-risques mérite d'être considérée pour mieux comprendre certaines interactions entre l'implantation humaine et l'environnement, avec ses dangers, mais aussi ses avantages.

Attendus de fin de cycle

- Identifier l'activité de la planète Terre et ses conséquences.
- Décrire les conditions de la vie terrestre.
- Différencier la météorologie du climat.
- Construire une argumentation scientifique pour expliquer le réchauffement climatique actuel.

Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	Connaissances et compétences attendues en fin de sixième
La Terre, une planète active qui abrite la vie • Situer la terre dans le système solaire. • Distinguer la météorologie du climat. • Réaliser et exploiter des mesures météorologiques en utilisant des capteurs (thermomètre, pluviomètre, anémomètre). • Identifier des indices de l'activité interne ou externe de la Terre (séismes, volcans, vents, courants océaniques, etc.). • Identifier des ressources naturelles exploitées par les sociétés humaines en lien avec l'activité de la planète Terre (matériaux de construction, géothermie, etc.). • Identifier un risque naturel à partir d'un exemple au choix (séisme, volcan, érosion littorale, cyclone, tempête, etc.) et les modalités de prévention associées.	**La Terre, une planète active qui abrite la vie** • Décrire les conditions qui permettent la présence de la vie sur Terre (atmosphère et température compatibles avec la vie, présence d'eau liquide) en lien avec la place de la Terre dans le système solaire. • Construire une argumentation relative au réchauffement climatique récent, à partir de données (évolution de la température moyenne depuis la période préindustrielle, fonte de glaciers, etc.) ; relier le réchauffement climatique à l'évolution de la teneur en gaz à effet de serre, conséquence des activités humaines. • Décrire quelques conséquences du réchauffement climatique récent sur le peuplement des milieux. • Citer des stratégies d'atténuation ou d'adaptation au réchauffement climatique.

Écosystème : structure, fonctionnement et dynamique

L'étude des écosystèmes se prête à des démarches variées par la pratique d'observations, de mesures, d'expérimentations et ou de traitement de données, par exemple en lien avec des projets de sciences participatives (comme Vigie-Nature École). Grâce à des confrontations répétées avec des milieux naturels, notamment lors de sorties ou de classes de découverte, les élèves comprennent que les écosystèmes sont des systèmes ouverts, dynamiques, qui ne sont pas figés au cours du temps. Ce thème permet d'installer progressivement une vision du monde vivant dans sa complexité à travers l'étude des relations que les êtres vivants entretiennent entre eux et avec leur milieu de vie.

Au travers de quelques exemples, on montre que les actions humaines sur les écosystèmes sont source de perturbations et que les écosystèmes font preuve de résilience, mais dans certaines limites. Si certaines actions humaines peuvent dégrader la biodiversité, d'autres sont conduites afin de préserver et de restaurer les milieux. Dans une perspective d'éducation au développement durable, l'implication des élèves dans des projets permettant de développer des compétences citoyennes est encouragée.

Attendus de fin de cycle • Décrire un écosystème et caractériser les interactions qui s'y déroulent. • Mettre en évidence la place et l'interdépendance de différents êtres vivants dans un réseau trophique. • Caractériser les conséquences d'une action humaine sur un écosystème.	
Connaissances et compétences attendues en fin de cours moyen	**Connaissances et compétences attendues en fin de sixième**
Écosystème • Caractériser, à partir d'un exemple, un écosystème par son milieu de vie, l'ensemble des êtres vivants et les interactions en son sein. • Décrire plusieurs types de relations entre espèces au sein d'un écosystème (coopérations, prédation, etc.). • Comparer, à partir d'observations ou d'expériences, la répartition des êtres vivants dans des milieux proches pour relier les facteurs abiotiques (physico-chimiques) et cette répartition (la température, l'ensoleillement ou l'humidité, etc.).	**Écosystème** • Décrire et interpréter les composantes biologiques, géologiques et anthropiques d'un paysage local à partir d'une sortie. • Comparer deux écosystèmes, à l'aide de données recueillies lors de sorties et/ou de recherches documentaires, pour établir un lien entre le milieu et son peuplement (écosystèmes aquatique et terrestre). • Suivre les changements de peuplement au cours des saisons pour un même écosystème et les relier aux changements des paramètres physiques et biologiques (température, ensoleillement, précipitations, présence de nourriture, etc.). • Présenter différentes adaptations au passage de la « mauvaise » saison. • Décrire les effets d'une perturbation naturelle sur un écosystème (chablis, incendie, etc.) et son évolution au cours du temps.
Place des êtres vivants dans les chaînes alimentaires • Relier la production de matière par les animaux à leur consommation de nourriture provenant d'autres êtres vivants. • Expérimenter pour identifier quelques besoins des végétaux. • Repérer la place singulière des végétaux positionnés à la base des réseaux alimentaires. • Représenter les liens alimentaires entre les êtres vivants par des chaînes formant un réseau.	**Place des êtres vivants dans les chaînes alimentaires** • Concevoir et mettre en œuvre des expériences pour relier la production de matière par les végétaux et leurs besoins (lumière, eau, sels minéraux, dioxyde de carbone). • Justifier la place des végétaux dans les chaînes alimentaires par leur propriété de production primaire. • Mettre en évidence que la matière organique des êtres vivants est décomposée après leur mort (exemple du sol). • Dégager le rôle clé des êtres vivants, en particulier des microorganismes, dans la

	décomposition de la matière organique, contribuant au cycle de la matière.
Conséquences des actions humaines sur l'environnement • Mettre en évidence quelques répercussions positives et négatives des actions humaines sur l'environnement proche. • S'impliquer dans des actions et des projets relatifs à l'éducation au développement durable sur un thème au choix (alimentation responsable, santé, biodiversité, eau, énergie, gestion et recyclage des déchets, bio-inspiration).	**Conséquences des actions humaines sur l'environnement** • Justifier la nécessité d'une exploitation raisonnée des ressources dans une perspective de développement durable. • Identifier les conditions favorables à la vie et à la reproduction d'êtres vivants d'un milieu pour concevoir et fabriquer en conséquence des objets techniques favorisant la biodiversité (nichoir, mangeoire, hôtel à insectes, etc.). • S'impliquer dans des actions et des projets relatifs à l'éducation au développement durable sur un thème au choix (alimentation responsable, santé, biodiversité, eau, énergie, gestion et recyclage des déchets, bio-inspiration).

Annexe 3

Programme d'enseignement du cycle des approfondissements (cycle 4)

Sommaire

Volet 1 : Les spécificités du cycle des approfondissements (cycle 4)

Volet 2 : Contributions essentielles des différents enseignements et champs éducatifs au socle commun

Volet 3 : Les enseignements (cycle 4)

Français

Langues vivantes (étrangères ou régionales)

Arts plastiques

Éducation musicale

Histoire des arts

Éducation physique et sportive

Enseignement moral et civique

Histoire et géographie

Physique-Chimie

Sciences de la vie et de la Terre

Technologie

Mathématiques

Éducation aux médias et à l'information

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Volet 1 : Les spécificités du cycle des approfondissements (cycle 4)

Le cycle 3 de la scolarité s'est achevé avec la première année du collège. Les élèves se sont progressivement habitués à une nouvelle organisation pédagogique et aux nouveaux rythmes des enseignements, à vivre dans un nouveau cadre qu'ils ont appris à décoder et à comprendre. Ils continuent de développer des compétences dans les différentes disciplines. Ces compétences, évaluées régulièrement et en fin de cycle, leur permettront de s'épanouir personnellement, de poursuivre leurs études et de continuer à se former tout au long de leur vie, ainsi que de s'insérer dans la société et de participer, comme citoyens, à son évolution. Toute l'équipe pédagogique et éducative contribue au développement de ces compétences.

Pour mettre en évidence les grands traits qui caractérisent le cycle 4, on peut insister sur plusieurs aspects qui, bien que déjà présents les années précédentes, n'étaient pas aussi marqués et systématiques.

- Lors des trois ans de collège du cycle 4, les élèves sont des adolescentes et des adolescents en pleine évolution physique et psychique. Les activités physiques et sportives, l'engagement dans la création d'événements culturels favorisent un développement harmonieux de ces jeunes, dans le plaisir de la pratique. L'élève développe ses compétences par la confrontation à des tâches plus complexes où il s'agit de réfléchir davantage que ce soit en termes de connaissances, de savoir-faire ou d'attitudes. Il est amené à faire des choix, à adopter des procédures adaptées pour résoudre un problème ou mener à bien un projet. Cela passe par des **activités disciplinaires et interdisciplinaires**. Tous les professeurs jouent un rôle moteur dans cette formation, dont ils sont les garants de la réussite. Pour que l'élève accepte des démarches où il tâtonne, prend des initiatives, se trompe et recommence, il est indispensable de créer un **climat de confiance,** dans lequel on peut questionner sans crainte et où disparaît la peur de mal faire.
- Dans la même perspective, les élèves sont amenés à **passer d'un langage à un autre** puis à choisir le mode de langage adapté à la situation, en utilisant la langue française, les langues vivantes, l'expression corporelle ou artistique, les langages scientifiques, les différents moyens de la société d'aujourd'hui (images, sons, supports numériques…). Nombre des textes et documents qu'ils doivent comprendre ou produire combinent différents langages. Là encore, l'interdisciplinarité favorise cette souplesse et cette adaptabilité, à condition qu'elle ne soit pas source de confusion, mais bien plutôt d'échanges et de confrontation de points de vue différents.
- Dans une société marquée par **l'abondance des informations**, les élèves apprennent à devenir des usagers des médias et d'Internet conscients de leurs droits et devoirs et maîtrisant leur identité numérique, à identifier et évaluer, en faisant preuve d'esprit critique, les sources d'information à travers la connaissance plus approfondie d'un univers médiatique et documentaire en constante évolution. Ils utilisent des outils qui leur permettent d'être efficaces dans leurs recherches. Mieux comprendre la société dans laquelle ils vivent exige aussi des élèves qu'ils s'inscrivent dans le temps long de l'histoire. C'est ainsi qu'ils sont davantage confrontés à l**a dimension historique des savoirs** mais aussi aux défis technologiques, sociétaux et environnementaux du monde d'aujourd'hui. Il s'agit pour eux de comprendre le monde qui les entoure afin de pouvoir agir de façon responsable et plus tard à une échelle plus large, en tant que citoyens.
- L**'abstraction et la modélisation** sont bien plus présentes désormais, ce qui n'empêche pas de rechercher les chemins concrets qui permettent de les atteindre. Toutes les disciplines y concourent : il s'agit de former des élèves capables de dépasser le cas individuel, de savoir disposer d'outils efficaces de modélisation valables pour de multiples situations et d'en comprendre les limites.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

- La **créativité** des élèves, qui traverse elle aussi tous les cycles, se déploie au cycle 4 à travers une grande diversité de supports (notamment technologiques et numériques) et de dispositifs ou activités tels que le travail de groupes, la démarche de projet, la résolution de problèmes, la conception d'œuvres personnelles, etc. Chaque élève est incité à proposer des solutions originales, à mobiliser ses connaissances et compétences pour des réalisations valorisantes et motivantes.
- La vie au sein de l'établissement et son prolongement en dehors de celui-ci est l'occasion de développer **l'esprit de responsabilité et d'engagement** de chacun et celui d'**entreprendre et de coopérer avec les autres**. Un climat scolaire propice place l'élève dans les meilleures conditions pour développer son autonomie et sa capacité à penser par lui-même. À travers l'enseignement moral et civique et sa participation à la vie du collège, il est amené à réfléchir de manière plus approfondie à des questions pour lesquelles les réponses sont souvent complexes, mais en même temps aux valeurs essentielles qui fondent notre société démocratique.
- Tout au long du cycle 4, les élèves sont amenés à conjuguer d'une part un **respect de normes qui s'inscrivent dans une culture commune,** d'autre part **une pensée personnelle en construction**, un développement de leurs talents propres, de leurs aspirations, tout en s'ouvrant aux autres, à la diversité, à la découverte.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Volet 2 : Contributions essentielles des différents enseignements et champs éducatifs au socle commun

Ce deuxième volet du programme de cycle 4 présente non pas l'intégralité des apports possibles de chaque champ disciplinaire ou éducatif, mais sa **contribution essentielle et spécifique** à l'acquisition de chacun des cinq domaines du socle commun de connaissances, de compétences et de culture.

Domaine 1. Les langages pour penser et communiquer

Ce domaine considère les langages moins dans leur usage que dans le principe de leur acquisition. Il appelle la mise en place de procédures de mémorisation, d'entraînement, d'automatisation et de réflexion sur les objets qu'il travaille, et au premier chef sur la langue française. Au cycle 4, l'acquisition de ces quatre opérations mentales est poursuivie mais la part de réflexion augmente. Il s'agit de s'approprier et maîtriser des codes complexes pour pratiquer les sciences, comprendre et communiquer à l'écrit, à l'oral, par la création d'images, de sons ou de gestes.

La rigueur de l'expression, la capacité à en faire preuve pour dialoguer, l'adaptation à une diversité de situations pour agir ou résoudre un problème sont au cœur du domaine 1.

L'élève passe progressivement de ses intuitions et usages spontanés à des réalisations réfléchies nécessitant d'organiser et formaliser davantage ses productions en respectant des règles et des normes qui permettent la compréhension et l'échange. C'est au cycle 4 que l'élève travaille les codes pour eux-mêmes et réalise qu'il s'agit de systèmes dont la puissance est infinie et ouvre à la liberté de penser et d'agir.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant la langue française à l'oral et à l'écrit**

L'enseignement du français au cycle 4 vise la compréhension de textes variés, notamment à travers la perception de leurs implicites ; la réalisation d'écrits divers dans des intentions et des contextes particuliers ; une expression orale claire et adaptée aux situations de communication. Il induit aussi une réflexion sur la langue qui permette de reformuler, transposer, interpréter, créer et communiquer.

Tous les champs disciplinaires concourent à la maîtrise de la langue. L'histoire et la géographie, les sciences et la technologie forment à l'acquisition de langages spécifiques qui permettent de comprendre le monde. Les arts développent la compréhension des langages artistiques et l'aptitude à communiquer sur leur réception. L'enseignement moral et civique entraîne à l'expression des sentiments moraux et au débat argumenté. L'éducation aux médias et à l'information aide à maîtriser les systèmes d'information et de communication à travers lesquels se construisent le rapport aux autres et l'autonomie.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant une langue étrangère ou régionale**

L'enseignement des langues étrangères ou régionales permet d'étendre et de diversifier ses capacités de compréhension et d'expression écrites et orales dans plusieurs langues ; de passer d'un mode de communication à un autre ; de recourir à divers moyens langagiers pour interagir et apprendre ; de réfléchir sur les fonctionnements des langues, leurs variations internes, leurs proximités et distances.

L'ensemble des disciplines contribue à la lecture, à la compréhension, à l'écriture de documents en langue étrangère ou régionale qui favorisent l'accès à d'autres contextes culturels. L'enseignement des langues vivantes fait découvrir à l'élève d'autres manières de comprendre le monde et d'en appréhender ses problématiques humaines, sociétales, économiques et environnementales.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques**

Les mathématiques, les sciences et la technologie forment à la lecture, à la compréhension, à la production de documents scientifiques et techniques variés. Elles aident à passer d'une forme de langage courant à un langage scientifique ou technique et inversement.

Les mathématiques apprennent à utiliser les nombres pour exprimer quantités et mesures, se repérer et résoudre des problèmes ; les grandeurs pour modéliser ; les propriétés des figures usuelles pour résoudre des problèmes, aborder la complexité du monde réel.

Les disciplines scientifiques et technologiques sont toutes concernées par la lecture et l'exploitation de tableaux de données, le traitement d'informations chiffrées ; par le langage algébrique pour généraliser des propriétés et résoudre des problèmes. Elles apprennent aussi à communiquer sur ses démarches, ses résultats, ses choix, à s'exprimer lors d'un débat scientifique et technique. La lecture, l'interprétation des tableaux, graphiques et diagrammes nourrissent aussi d'autres champs du savoir.

- **Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages des arts et du corps**

Les arts plastiques et l'éducation musicale y contribuent tout particulièrement. Ils apprennent à manipuler les composantes des langages plastiques dans une visée artistique ; à maîtriser sa voix parlée et chantée, à moduler son expression, à interpréter un répertoire, à tenir sa partie dans un collectif ; à expliciter sa perception, ses sensations et sa compréhension des processus artistiques et à participer au débat lié à la réception des œuvres.

L'éducation physique et sportive apprend à élaborer des systèmes de communication dans et par l'action, à se doter de langages communs pour pouvoir mettre en œuvre des techniques efficaces, prendre des décisions, comprendre l'activité des autres dans le contexte de prestations sportives ou artistiques, individuelles ou collectives.

Domaine 2. Les méthodes et outils pour apprendre

Être élève s'apprend par l'exemple des adultes mais aussi en s'appropriant des règles et des codes que ce domaine explicite. Son importance est décisive pour la réussite et concerne tous les champs du savoir. Il s'agit du travail en classe et du travail personnel de l'élève qui augmente progressivement dans le cycle. Ils permettront l'autonomie nécessaire à des poursuites d'étude. Il ne s'agit ni d'un enseignement spécifique des méthodes, ni d'un préalable à l'entrée dans les savoirs : c'est dans le mouvement même des apprentissages disciplinaires et des divers moments et lieux de la vie scolaire qu'une attention est portée aux méthodes propres à chaque discipline et à celles qui sont utilisables par toutes. Le monde contemporain a introduit à l'école les outils numériques qui donnent accès à une information proliférante dont le traitement constitue une compétence majeure. Le domaine 2 vise un usage éclairé de ces outils, à des fins de connaissance et pas seulement d'information, pour former des utilisateurs conscients de leurs potentialités mais aussi des risques qu'ils peuvent comporter et des responsabilités des utilisateurs. Les salles spécialisées, le CDI, les environnements numériques de travail sont dédiés à cet effet.

Ce domaine concerne l'apprentissage du travail coopératif et collaboratif sous toutes ses formes, en classe, dans les projets conduits par les élèves au sein de l'établissement, en liaison avec les valeurs promues dans le domaine 3 et par l'enseignement moral et civique.

L'ensemble des disciplines concourt à apprendre aux élèves comment on apprend à l'école. Elles prennent en charge l'apprentissage de la langue scolaire, de la compréhension des consignes, du lexique, du maniement des usuels, de la prise de notes. Elles aident à acquérir des stratégies d'écoute, de lecture, d'expression.

L'organisation et l'entraînement, déterminants pour la réussite, se construisent dans la classe à travers leçons et exercices, mais aussi à l'extérieur, au sein de la vie scolaire et du

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

CDI. Chaque discipline y contribue à sa façon : les sciences, dont les mathématiques et la technologie, par exemple par des exercices d'entraînement et de mémorisation ainsi que par la confrontation à des tâches complexes, l'éducation physique et sportive par l'entraînement, les répétitions, la réduction ou l'augmentation de la complexité des tâches, la concentration, la compréhension de ses erreurs. L'enseignement de l'informatique, dispensé en mathématiques et en technologie, permet d'approfondir l'usage des outils numériques et d'apprendre à progresser par essais et erreurs. Le volume des informations auxquelles sont soumis les élèves exige d'eux des méthodes pour les rechercher et les exploiter judicieusement. L'ensemble des disciplines propose pour cela des outils, et l'éducation aux médias et à l'information apprend aussi la maîtrise des environnements numériques de travail.

La réalisation de projets, au sein des disciplines et entre elles, mobilise des ressources diverses.

Les projets artistiques exigent notamment le recours à des ressources d'expression plastique ou musicales, documentaires et culturelles. Les langues peuvent contribuer, de manière méthodique et planifiée, à des projets et des échanges où s'articulent écriture, lectures, recherches, communication avec des locuteurs étrangers ou régionaux.

Ces projets développent des compétences de coopération, par exemple lorsqu'il s'agit de développer avec d'autres son corps ou sa motricité, de concevoir pour un destinataire une activité multimédia ou de contribuer dans l'établissement à des publications respectueuses du droit et de l'éthique de l'information.

L'éducation aux médias et à l'information passe d'abord par l'acquisition d'une méthode de recherche d'informations et de leur exploitation mise en œuvre dans les diverses disciplines.

Elle pousse à s'interroger sur la fiabilité, la pertinence d'une information, à distinguer les sources selon leur support.

Elle aide à exploiter les outils, les modes d'organisation de l'information et les centres de ressources accessibles.

Sciences et technologie contribuent de façon majeure à la maîtrise des outils numériques. Elles enseignent l'exploitation de bases de données, l'organisation et le traitement de mesures, l'articulation d'aspects numériques et graphiques. Plus spécifiquement, elles permettent d'analyser ou de simuler un phénomène naturel, de tester des conjectures, de collecter et mutualiser des informations de terrain ou de laboratoire, d'analyser le niveau de technicité des objets et systèmes techniques, leurs environnements technologiques.

D'autres disciplines participent à cette éducation, comme le français par son traitement de différentes sources d'information, numériques ou non, les arts plastiques par leur identification de la nature de différentes productions numériques artistiques dont ils expérimentent les incidences sur la conception des formes, l'histoire et la géographie par leur vocation à traiter les sources ou à présenter, diffuser et créer des représentations cartographiées.

Domaine 3. La formation de la personne et du citoyen

La formation de la personne et du citoyen relève de tous les enseignements et de l'enseignement moral et civique. Cette formation requiert une culture générale qui fournit les connaissances éclairant les choix et l'engagement éthique des personnes. Elle développe le sens critique, l'ouverture aux autres, le sens des responsabilités individuelles et collectives en mettant en jeu par le débat, par l'engagement et l'action, les valeurs fondamentales inscrites dans la République et les diverses déclarations des droits. Elle engage donc tous les autres domaines du socle : la capacité à exprimer ses émotions et sa pensée, à justifier ses choix, à s'insérer dans des controverses en respectant les autres ; la capacité à vivre et travailler dans un collectif et dans la société en général ; les connaissances scientifiques et

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

techniques qui permettent d'accéder à la vérité et à la preuve, de la différencier d'une simple opinion, de comprendre les enjeux éthiques des applications scientifiques et techniques ; le respect des règles et la possibilité de les modifier ; les savoirs littéraires et historiques indispensables à la compréhension du sens de la citoyenneté, de la place de l'individu dans la société et du devoir de défense.

Les disciplines artistiques développent par excellence la sensibilité, mais elles habituent aussi à respecter le goût des autres, à se situer au-delà des modes et des *a priori*.

Par la nature des échanges argumentés qu'ils inspirent avec d'autres points de vue, des enseignements comme le français, l'histoire des arts ou l'histoire et la géographie développent le vocabulaire des émotions et du jugement, la sensibilité et la pensée, concernant notamment les questions socialement vives et l'actualité.

Toutes les disciplines et notamment les sciences de la vie et de la Terre, l'enseignement moral et civique et les divers moments de la vie scolaire contribuent au respect des autres, au souci d'autrui dans les usages du langage, et à la lutte contre toutes les formes de discrimination. Les langues vivantes étrangères et régionales ouvrent au respect et au dialogue des cultures et préparent à la mobilité.

La formation de la personne et du citoyen suppose une connaissance et une compréhension des règles de droit qui prévalent en société. Par des études de cas concrets, l'histoire, la géographie et l'enseignement moral et civique habituent à s'approprier les grands principes de la justice et les règles du fonctionnement social, à distinguer ce qui est objectif de ce qui est subjectif. L'éducation aux médias et à l'information initie à des notions comme celles d'identité et de trace numériques dont la maîtrise sous-tend des pratiques responsables d'information et de communication.

L'enseignement moral et civique initie aux grands principes démocratiques et aux valeurs portées par les déclarations des droits de l'homme.

Ces règles concernent aussi les pratiques et la vie dans l'établissement, comme dans les activités physiques, sportives et artistiques : comprendre qu'elles sont source d'inventions techniques, de liberté, de sécurité permet d'établir des rapports positifs aux autres, en particulier avec les camarades de l'autre sexe. La vie scolaire est également un moment privilégié pour apprendre à respecter les règles de vie collective, connaître ses droits et ses devoirs.

Développer le jugement est un des buts privilégiés du cycle 4. Chaque discipline y concourt à sa manière en enseignant l'évaluation critique de l'information et des sources d'un objet médiatique, en apprenant à élaborer des codes pour évaluer une activité physique, à analyser une information chiffrée, ou encore en formant aux critères du jugement de goût.

Toutes les disciplines visent à étayer et élargir les modes de raisonnement et les démonstrations. Ainsi, les langues vivantes étrangères et régionales introduisent à d'autres points de vue et conceptions, aident à prendre de la distance et à réfléchir sur ses propres habitudes et représentations. L'enseignement moral et civique permet de comprendre la diversité des sentiments d'appartenance et en quoi la laïcité préserve la liberté de conscience et l'égalité des citoyens. La culture littéraire nourrit les débats sur les grands questionnements. Les mathématiques et la culture scientifique et technique aident à développer l'esprit critique et le goût de la vérité ; celle-ci permet d'évaluer l'impact des découvertes et innovations sur notre vie, notre vision du monde et notre rapport à l'environnement. L'éducation aux médias et à l'information oblige à questionner les enjeux démocratiques liés à l'information journalistique et aux réseaux sociaux.

Les projets interdisciplinaires constituent un cadre privilégié pour la mise en œuvre des compétences acquises. Ils nécessitent des prises d'initiative qui les mobilisent et les développent dans l'action. Les disciplines scientifiques et technologiques notamment peuvent engager dans des démarches de conception, de création de prototypes, dans des activités manuelles, individuelles ou collectives, des démarches de projet, d'entrepreneuriat.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Ces initiatives et engagements, la participation à des actions solidaires ou aux instances de l'établissement et aux heures de vie de classe requièrent un exercice explicite de la citoyenneté.

Domaine 4. Les systèmes naturels et les systèmes techniques

Le domaine 4 est un lieu privilégié mais non exclusif pour travailler l'histoire des sciences en liaison avec l'histoire des sociétés humaines. Il permet d'initier aux premiers éléments de modélisation scientifique et de comprendre la puissance des mathématiques, l'importance de prendre conscience des ordres de grandeur de l'infiniment grand de l'univers à l'infiniment petit (de la cellule à l'atome). Les élèves sont amenés à utiliser constamment diverses échelles et la proportionnalité. Il met en perspective ce qui paraît aller de soi comme la mesure du temps et de l'espace. Au cycle 4, les élèves prennent conscience des risques, qu'ils soient naturels ou liés aux activités humaines, et en analysent les causes et conséquences naturelles et humaines. Ils sont sensibilisés aux problèmes de santé publique liés aux conduites ou à l'alimentation et trouvent dans l'éducation physique des exemples concrets de prévention. Ils explorent le monde des objets, leur production, leur design, leur cycle de vie ; ils en mesurent les usages dans la vie quotidienne.

Les sciences, dont les mathématiques, visent à décrire et expliquer des phénomènes naturels en réalisant et exploitant des mesures, en mobilisant des connaissances dans les domaines de la matière, du vivant, de l'énergie et de l'environnement, en anticipant des effets à partir de causes ou de modèles, en aidant à se repérer dans l'univers en ayant conscience des échelles et des ordres de grandeur.

La technologie décrit et explique des objets et des systèmes techniques répondant à des besoins en analysant des usages existants, en modélisant leurs organisations fonctionnelles, leurs comportements, en caractérisant les flux de données et d'énergie échangés.

L'éducation physique et sportive aide à comprendre les phénomènes qui régissent le mouvement et l'effort, à identifier l'effet des émotions et de l'effort sur la pensée et l'habileté gestuelle.

L'éducation aux médias et à l'information fait connaître et maîtriser les évolutions technologiques récentes des produits médiatiques.

Les sciences aident à se représenter, à modéliser et appréhender la complexité du monde à l'aide des registres numérique, géométrique, graphique, statistique, symbolique du langage mathématique. Elles exercent à induire et déduire grâce à la résolution de problèmes, aux démarches d'essais-erreurs, de conjecture et de validation. Elles contribuent à former le raisonnement logique par le calcul numérique ou littéral, la géométrie et l'algorithmique. Elles forment à interpréter des données, à prendre des décisions en les organisant et les analysant grâce à des outils de représentation. Elles apprennent à expérimenter tout en respectant les règles de sécurité.

Pour ces démarches d'investigation, l'éducation aux médias et à l'information constitue une précieuse ressource. Elle aide en effet à distinguer une information scientifique vulgarisée d'une information pseudo-scientifique grâce au repérage d'indices pertinents et à la validation des sources. L'histoire et la géographie contribuent également à la démarche de questionnement en donnant à imaginer des stratégies de sélection des informations reçues en classe, en les croisant avec ses représentations pour expliquer un événement, une notion, l'organisation d'un territoire.

La technologie relie les applications technologiques aux savoirs et les progrès technologiques aux avancées dans les connaissances scientifiques. Elle fait concevoir et réaliser tout ou partie d'un objet ou d'un système technique en étudiant son processus de réalisation, en concevant le prototype d'une solution matérielle ou numérique, en cherchant à améliorer ses performances.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Les arts contribuent à interpréter le monde, à agir dans la société, à transformer son environnement selon des logiques de questionnement autant sensibles que rationnelles qui permettent de répondre à des problèmes complexes par des réalisations plastiques concrètes ou à expérimenter des matériaux et techniques permettant la réalisation d'un projet musical au service d'une émotion, d'un point de vue, d'un sens particulier ou d'une narration.

Les sciences, dont les mathématiques et la technologie, en liaison avec l'enseignement moral et civique, font réinvestir des connaissances fondamentales pour comprendre et adopter un comportement responsable vis-à-vis de l'environnement et des ressources de la planète, de la santé, des usages des progrès techniques. Elles aident à différencier responsabilités individuelle et collective dans ces domaines.

L'éducation physique et sportive contribue à la construction des principes de santé par la pratique physique.

Domaine 5. Les représentations du monde et l'activité humaine

Au cycle 4, les élèves continuent à développer l'esprit critique et le goût de la controverse qui caractérisera ensuite l'enseignement des lycées. Ils développent une conscience historique par le travail des traces du passé, des mémoires collectives et individuelles et des œuvres qu'elles ont produites. Ils commencent à les mettre en relation avec la société où ils vivent et dont ils doivent sentir l'élargissement aux mondes lointains et à la diversité des cultures et des croyances. Ils commencent à nourrir leurs propres travaux de citations qu'ils s'approprient ou détournent pour produire de nouvelles significations. Cet élargissement de l'expérience du temps et de l'espace permet de travailler sur le développement de l'information et des médias dans les sociétés humaines, de distinguer le visible et l'invisible, l'explicite et l'implicite, le réel et la fiction. L'étude des paysages et de l'espace urbain où vivent aujourd'hui une majorité d'humains ouvre des perspectives pour mieux comprendre les systèmes complexes des sociétés créées par l'homme contemporain. C'est aussi le domaine où se développent la créativité et l'imaginaire, les qualités de questionnement et d'interprétation qui sollicitent l'engagement personnel et le jugement en relation avec le domaine 3.

L'histoire et la géographie sont, par excellence, les disciplines qui mettent en place des repères temporels reliant entre eux des acteurs, des événements, des lieux, des œuvres d'art, des productions humaines ainsi que des repères spatiaux, de l'espace vécu au découpage du monde. Mais d'autres champs disciplinaires ou éducatifs y contribuent également, comme l'éducation aux médias et à l'information qui donne à connaître des éléments de l'histoire de l'écrit et de ses supports.

Il s'agit fondamentalement d'aider les élèves à se construire une culture. Comme en français où l'on s'approprie une culture littéraire vivante et organisée, ou bien au sein des champs artistiques et de l'histoire des arts où l'on interroge le rapport de l'œuvre à l'espace et au temps comme processus de création relié à l'histoire des hommes et des femmes, des idées et des sociétés, où l'on apprend à connaître par l'expérience sensible et l'étude objective quelques grandes œuvres du patrimoine. Les sciences et la technologie y contribuent également en développant une conscience historique de leur développement montrant leurs évolutions et leurs conséquences sur la société.

Dans leur confrontation aux différentes disciplines et champs éducatifs, les élèves apprennent aussi à se situer dans le monde social. Ils accèdent, grâce à l'histoire et à la géographie, à l'organisation politique, géographique et culturelle du monde. Ils commencent à appréhender, par la formation morale et civique, leurs responsabilités d'homme, de femme et de citoyen. Ils apprennent aussi à utiliser des outils de communication en opérant notamment une distinction, absolument nécessaire, entre espace privé et espace public, en

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

comprenant que les médias véhiculent des représentations du monde qu'il faut connaître et reconnaître.

En développant leur culture scientifique et technologique, ils comprennent l'existence de liens étroits entre les sciences, les technologies et les sociétés, ils apprennent à apprécier et évaluer les effets et la durabilité des innovations, notamment celles liées au numérique.

S'approprier l'organisation et le fonctionnement des sociétés passe aussi par la connaissance des processus par lesquels ils se construisent. Les différentes disciplines apprennent à voir qu'ils procèdent d'expériences humaines diverses. Le français y contribue en enseignant à reconnaître les aspects symboliques des textes, à les comprendre dans leur contexte historique et la pluralité de leurs réceptions, à les interpréter et à formuler sur eux un jugement personnel argumenté. Les langues vivantes étendent la connaissance de la diversité linguistique et culturelle et celle des enjeux liés à cette pluralité.

Les enseignements artistiques aident à expérimenter et comprendre la spécificité des productions artistiques considérées comme représentations du monde, interrogations sur l'être humain, interprétations et propositions.

Se représenter le monde dans sa complexité et ses processus passe par des réalisations de projets. Ceux-ci peuvent notamment se développer dans le cadre des enseignements pratiques interdisciplinaires auxquels chaque discipline apporte sa spécificité. L'objectif d'une production y est toujours présent, qu'il s'agisse de rendre compte de la complexité du monde par la réalisation de cartes mentales, de schémas, de croquis, d'exercer sa créativité par des pratiques individuelles ou collectives d'expositions, de théâtre, d'écriture de fiction ou poétique, ou de réaliser une production médiatique.

Ces initiatives développent la créativité dans la confrontation. La technologie, par exemple, forme aux compromis nécessaires pour faire évoluer les objets et systèmes techniques actuels ; l'éducation physique et sportive, par les défis, les épreuves, les rencontres qu'elle organise, apprend à combiner les ressources que nécessite chaque activité étudiée et à les mobiliser pour devenir de plus en plus autonome ; les langues vivantes étrangères et régionales, par la participation à des projets dans des contextes multilingues et multiculturels, accroissent les capacités de mobilité.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Sciences de la vie et de la Terre

Les professeurs veillent à la progressivité et à la continuité dans les apprentissages des notions et concepts, sur l'ensemble du cycle, pour laisser aux élèves le temps nécessaire à leur assimilation. Dans le prolongement des approches en cycle 2 (questionner le monde) et en cycle 3 (sciences et technologie), il s'agit dans le cadre de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre au cours du cycle 4 de permettre à l'élève :

- d'accéder à des savoirs scientifiques actualisés, de les comprendre et les utiliser pour mener des raisonnements adéquats, en reliant des données, en imaginant et identifiant des causes et des effets ;
- d'appréhender la complexité du réel en utilisant le concret, en observant, en expérimentant, en modélisant ;
- de distinguer les faits des idées ;
- d'appréhender la place des techniques, leur émergence, leurs interactions avec les sciences ;
- d'expliquer les liens entre l'être humain et la nature ;
- d'expliquer les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/nuisances) et la variabilité des actions de l'être humain sur la nature ;
- d'agir en exerçant des choix éclairés, y compris pour ses choix d'orientation ;
- d'exercer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement, pour :
  - construire sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ;
  - intégrer les évolutions des domaines social, économique et technologique ;
  - assumer les responsabilités sociales et éthiques qui découlent des choix opérés.

L'éducation au développement durable, au changement climatique et à la biodiversité est un enjeu majeur de formation des élèves. Les savoirs et compétences nécessaires pour étudier ces thématiques constituent l'un des fils conducteurs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. Il s'agit de comprendre l'effet de certaines activités humaines sur l'environnement sans se limiter à une vision anthropocentrée du monde. Il s'agit aussi de permettre aux jeunes de distinguer faits et savoirs scientifiques des opinions et des croyances, pour entrer dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels ou techniques, et le monde vivant. Cette posture scientifique est faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, esprit critique, exploitation positive des erreurs…) et de capacités (observer, expérimenter, modéliser…).

Les objectifs de formation du cycle 4 en sciences de la vie et de la Terre s'organisent autour de trois grandes thématiques : la planète Terre, l'environnement et l'action humaine ; le vivant et son évolution ; le corps humain et la santé. Le programme de sciences de la vie et de la Terre, dans le prolongement du cycle 3, fait ainsi écho aux programmes de physique-chimie et de technologie du cycle 4, et s'articule avec d'autres disciplines pour construire une vision scientifique de la réalité. Elles apportent un regard particulier, à côté et en complément d'autres regards, pour enrichir les approches éthiques des questions vives de la société.

Compétences travaillées	Domaine du socle
Pratiquer des démarches scientifiques - Formuler une question ou un problème scientifique. - Proposer une ou des hypothèses pour résoudre un problème ou répondre à une question. Concevoir et mettre en œuvre des expériences ou d'autres stratégies de résolution pour tester cette ou ces hypothèses. - Utiliser des instruments d'observation, de mesures et des techniques de préparation et de collecte. - Interpréter des résultats et en tirer des conclusions.	1, 2, 4

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

- Communiquer sur les démarches, les résultats et les choix, en argumentant. - Identifier et choisir des notions, des outils et des techniques, ou des modèles simples pour mettre en œuvre une démarche scientifique.	
Concevoir, créer, réaliser - Concevoir et mettre en œuvre un protocole expérimental.	4
Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre - Apprendre à organiser son travail (par ex. pour mettre en œuvre un protocole expérimental). - Identifier et choisir les outils et les techniques pour garder trace de ses recherches (à l'oral et à l'écrit).	2
Pratiquer des langages - Lire et exploiter des données présentées sous différentes formes : tableaux, graphiques, diagrammes, dessins, conclusions de recherches, cartes heuristiques, etc. - Représenter des données sous différentes formes, passer d'une représentation à une autre et choisir celle qui est adaptée à la situation de travail.	1, 4
Utiliser des outils numériques - Conduire une recherche d'informations sur internet pour répondre à une question ou un problème scientifique, en choisissant des mots-clés pertinents, et en évaluant la fiabilité des sources et la validité des résultats. - Utiliser des logiciels d'acquisition de données, de simulation et des bases de données.	2
Adopter un comportement éthique et responsable - Identifier les impacts (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles. - Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement sur des arguments scientifiques. - Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé. - Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain. - Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique.	3, 4, 5
Se situer dans l'espace et dans le temps - Situer l'espèce humaine dans l'évolution des espèces. - Appréhender différentes échelles de temps géologique et biologique (ex : histoire de la Terre ; apparition de la vie, évolution et extinction des espèces vivantes…). - Appréhender différentes échelles spatiales d'un même phénomène/d'une même fonction (ex : nutrition : niveau de l'organisme, niveau des organes et niveau cellulaire). - Identifier par l'histoire des sciences et des techniques comment se construit un savoir scientifique.	4, 5

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Ces compétences énoncées ne sont pas travaillées pour elles-mêmes mais activées dans les trois thématiques énoncées ci-dessus.

La planète Terre, l'environnement et l'action humaine

Cette partie de programme est propice à effectuer une synthèse montrant les liens entre le changement climatique actuel et l'influence humaine dans ce processus. Les notions de météorologie et de climat sont définies. On étudie les enjeux de l'exploitation des ressources naturelles dans une perspective de développement durable ainsi que les conséquences positives ou négatives des activités humaines sur la préservation de la biodiversité.

Attendus de fin de cycle
- Explorer et expliquer certains phénomènes géologiques liés au fonctionnement de la Terre.
- Explorer et expliquer certains éléments de météorologie et de climatologie.
- Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre.
- Envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Expliquer quelques phénomènes géologiques à partir du contexte géodynamique global. - La Terre dans le système solaire ; le globe terrestre, dynamique interne et tectonique des plaques lithosphériques ; séismes, éruptions volcaniques. - Ères géologiques.	Les exemples locaux ou régionaux ainsi que les faits d'actualité sont à privilégier tout comme l'exploitation de banques de données, de mesures, d'expérimentation et de modélisation. Ce thème se prête à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique, l'évolution des idées, par exemple sur la forme de la Terre, sa position par rapport au soleil, la tectonique des plaques… Pour traiter de l'évolution du climat, les exemples seront choisis dans une échelle de temps qui est celle de l'humanité, mais quelques exemples sur les climats passés peuvent être évoqués (ex. : les glaciations du Quaternaire). Toutes les notions liées aux aléas et aux risques peuvent être abordées à partir des phénomènes liés à la géodynamique externe puis réinvesties dans le domaine de la géodynamique interne ou inversement (ex. : aléas météorologiques ou climatiques, séismes, éruptions volcaniques, pollutions et autres risques technologiques…). Les activités proposées permettront à l'élève de prendre conscience des enjeux sociétaux et de l'impact des politiques publiques et des comportements individuels. Quelques exemples permettent aux élèves d'identifier, en utilisant notamment les
Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques. - Météorologie ; dynamique des masses d'air et des masses d'eau ; vents et courants océaniques. - Différence entre météo et climat ; Les grandes zones climatiques de la Terre et la répartition des faunes et des flores. - Les changements climatiques passés (temps géologiques) et actuels (influence des activités humaines sur le climat notamment par l'émission de gaz à effet de serre) ; leurs conséquences sur la répartition des êtres vivants. Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels (ex. : séismes, cyclones, inondations) ainsi que ceux liés aux activités humaines (pollution de l'air et des mers, réchauffement climatique, montée du niveau des océans…) aux mesures de prévention, de protection, d'adaptation, ou d'atténuation.	

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

- Les phénomènes naturels : risques et enjeux pour l'être humain. - Notions d'aléas, de vulnérabilité et de risque en lien avec les phénomènes naturels ; prévisions.	biotechnologies, des solutions de préservation ou de restauration de l'environnement compatibles avec des modes de vie qui cherchent à mieux respecter les équilibres naturels.
Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société. - L'exploitation de quelques ressources naturelles par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques…) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes. Expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles à différentes échelles. Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales. Analyser les impacts engendrés par le rythme, la nature (bénéfices/nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement. - Quelques exemples d'interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète).	Cette thématique est l'occasion de faire prendre conscience à l'élève des conséquences de certains comportements et modes de vie (exemples : pollution des eaux, raréfaction des ressources en eau dans certaines régions, combustion des ressources fossiles et réchauffement climatique, érosion des sols, déforestation, disparitions d'espèces animales et végétales, etc.). La formation d'un sol nécessite entre dix mille ans dans les zones froides et cent ans en région tropicale. Quelques exemples judicieusement choisis, comme l'acidification des océans, la dégradation des sols, permettent aux élèves d'argumenter des choix de solutions de préservation ou de restauration de l'environnement compatibles avec des modes de vie qui cherchent à mieux respecter les équilibres naturels (énergies renouvelables, traitement des eaux, transports non polluants, gestion des déchets, aménagements urbains, optimisation énergétique). Cette thématique contribue tout particulièrement à l'enseignement moral et civique. On peut étudier des exemples de trames noires, bleues et vertes (articles L.371-1 et R.371-19 du code de l'environnement) ainsi que des zones protégées conçues pour limiter la fragmentation et la dégradation des habitats.

Repères de progressivité

Les phénomènes géologiques liés au fonctionnement de la Terre / éléments de climatologie et de météorologie

Après l'étude de la planète Terre et de sa place dans le système solaire réalisée au cycle 3, au cours du cycle 4, et quels que soient les choix réalisés (entrée par les phénomènes géologiques ou météorologiques et climatologiques), aléas, vulnérabilité, risques, prévision, prévention, adaptation et protection seront abordés tout au long du cycle.

Par ailleurs, en prenant en compte la programmation relative à la thématique « Le vivant et son évolution », les changements climatiques passés et actuels peuvent être corrélés à des modifications de la répartition des êtres vivants.

Ressources naturelles, écosystèmes et activités humaines

Cette partie gagne à être traitée à plusieurs occasions sur toute la durée du cycle. L'exploration peut débuter au niveau local ou au niveau régional par l'étude du fonctionnement de différents écosystèmes où s'intègrent les activités humaines et l'étude de l'exploitation et de

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

la gestion de ressources naturelles. Ces observations peuvent ensuite être remobilisées dans le contexte global du fonctionnement de la planète Terre travaillé plutôt en fin de cycle.

Le vivant et son évolution

La biodiversité est abordée dans ses différentes dimensions : diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; dynamique des populations ; diversité génétique ; diversité des relations interspécifiques, apparition et disparition d'espèces au cours du temps ; maintien des formes aptes à se reproduire par effet du hasard et de la sélection naturelle. On rappelle que les végétaux verts se nourrissent du CO_2 rejeté par la respiration des organismes (animaux et végétaux) et par la combustion de matière organique actuelle (en particulier par les décomposeurs dans le sol) ou fossile. Des relations entre changement climatique et modification de la biodiversité peuvent être explorées.

Attendus de fin de cycle
- Expliquer l'organisation et le fonctionnement du monde vivant, sa dynamique à différentes échelles d'espace et de temps.
- Établir des relations de causalité entre différents faits pour expliquer :
  - la nutrition des organismes ;
  - la dynamique des populations ;
  - la classification du vivant ;
  - la biodiversité (diversité des espèces) ;
  - la diversité génétique des individus ;
  - l'évolution des êtres vivants.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Relier les besoins en nutriments et dioxygène des cellules animales et le rôle des systèmes de transport dans l'organisme. - Nutrition et organisation fonctionnelle à l'échelle de l'organisme, des organes, des tissus et des cellules. - Nutrition et interactions avec des micro-organismes. Relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne (CO_2, eau, sels minéraux et énergie lumineuse), les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante.	Ce thème se prête notamment : - à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique l'évolution des connaissances sur la nutrition, la reproduction, la génétique ou l'évolution ; - aux observations à différentes échelles pour la constitution des organismes étudiés et la diversité du vivant (dont les bactéries, les champignons, les ciliés, etc.).
Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations. - Reproductions sexuée et asexuée, rencontre des gamètes, milieux et modes de reproduction et de dissémination. - Gamètes et patrimoine génétique chez les Vertébrés et les plantes à fleurs. - Dynamique des populations et paramètres d'influence.	On privilégie des observations de terrain pour recueillir des données, les organiser et les traiter à un niveau simple, ainsi que la mise en œuvre de démarches expérimentales. Cette thématique est l'occasion d'utiliser des outils de détermination et de classification. Il est possible d'étudier les conséquences de l'augmentation de la température globale de la Terre sur la reproduction de

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution. - Caractères partagés et classification. - Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.	certains organismes vivants. Ce thème se prête aussi aux applications biotechnologiques, lorsque l'élève réalise des cultures de cellules ou étudie des protocoles d'obtention d'organismes génétiquement modifiés (OGM), de lignées de cellules (sources de cellules mères, croissance, conservation, normes éthiques) ou de clonage. Il est envisageable d'étudier l'exemple d'une sélection génétique par l'être humain sous forme d'OGM. Utiliser des connaissances pour évaluer et argumenter la possibilité et les formes de vie sur d'autres planètes. Ce thème se prête à l'étude des relations entre le changement climatique et la modification de la biodiversité. Des relations peuvent être établies entre la santé des populations humaines, les changements climatiques et les modifications de la biodiversité. Montrer que certains événements majeurs passés ou actuels (éruptions volcaniques de grande ampleur, introduction d'espèces invasives, compétitions entre organismes vivants, etc.) ont un effet sur l'évolution de la biodiversité.
Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus. Expliquer les mécanismes à l'origine de la diversité et de la stabilité génétique des individus. Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement. Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité. - Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; diversité des relations interspécifiques. - Diversité génétique au sein d'une population ; héritabilité, stabilité des groupes. - ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.	
Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution. - Apparition et disparition d'espèces au cours du temps (traces fossiles des premiers organismes vivants sur Terre). - Maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle.	

Repères de progressivité

La nutrition des organismes : on passe progressivement de l'organisation fonctionnelle à l'échelle des organismes à des mécanismes expliqués jusqu'à l'échelle cellulaire ; le rôle des micro-organismes peut être abordé chaque année.

La dynamique des populations : on passe progressivement de l'étude de la diversité des modes de reproduction et des modalités de rencontre des gamètes à la transmission du patrimoine génétique, au maintien des espèces et à la dynamique des populations.

La diversité génétique des individus : on passe progressivement du constat de la diversité des êtres vivants et de leurs interactions aux mécanismes à l'origine de cette diversité.

La classification du vivant et l'évolution des êtres vivants : dans le prolongement du cycle 3 et tout au long du cycle 4, les élèves découvrent de nouvelles espèces et de nouveaux groupes, construisant ainsi tout au long du cycle l'idée que la classification évolutive est une méthode scientifique universelle pour décrire la diversité du vivant. Dès que les élèves ont les bases génétiques et paléontologiques suffisantes, on peut donner tout son sens à la signification évolutive de cette classification.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Le corps humain et la santé

L'activité physique et les systèmes cardio-vasculaire et respiratoire, le fonctionnement du système nerveux, le monde microbien que nous abritons ou côtoyons, la nutrition et la reproduction sont des sujets d'étude fondamentaux et indispensables pour comprendre les bases physiologiques humaines. Cette partie du programme permet de faire le lien avec le troisième objectif de développement durable définit par les Nations unies « Bonne santé et bien-être ».

Attendus de fin de cycle
- Expliquer quelques processus biologiques impliqués dans le fonctionnement de l'organisme humain, jusqu'au niveau moléculaire : activités musculaire, nerveuse, cardio-vasculaire et respiratoire, activité cérébrale, alimentation et digestion, relations avec le monde microbien, reproduction et sexualité.
- Relier la connaissance de ces processus biologiques aux enjeux liés aux comportements responsables individuels et collectifs en matière de santé.

<table>
<tr><th>Connaissances et compétences associées</th><th>Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève</th></tr>
<tr><td>Expliquer comment le système nerveux, le système respiratoire et le système cardiovasculaire interviennent lors d'un effort musculaire, en identifiant les capacités et les limites de l'organisme.
- Rythmes cardiaque et respiratoire, et effort physique
Mettre en évidence le rôle du cerveau dans la réception et l'intégration d'informations multiples.
- Message nerveux, centres nerveux, nerfs, cellules nerveuses.
Relier quelques comportements à leurs effets sur le fonctionnement du système nerveux.
- Activité cérébrale ; hygiène de vie : conditions d'un bon fonctionnement du système nerveux, perturbations par certaines situations ou consommations (seuils, excès, dopage, limites et effets de l'entraînement).</td><td rowspan="3">Ce thème se prête :
- à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique l'évolution des idées sur la vaccination et les antibiotiques ;
- à l'interprétation évolutive d'adaptations concernant le fonctionnement humain ;
- à la prévention de conduites addictives ;
- aux applications biotechnologiques, lorsque l'élève explique, à partir des connaissances acquises, les procédés et étapes de fabrication de vaccins et de techniques de procréation médicalement assistée.
L'élève construit ses compétences par des collaborations avec des partenaires dans le domaine de la santé (médecins, sportifs, etc.).
Les exemples et les démarches choisies permettent à l'élève d'envisager les facteurs du bien-être physique, social et mental, et découvrir l'intérêt et les logiques des politiques de santé publique. Cette thématique contribue particulièrement à l'enseignement moral et civique.
La question de la répartition des ressources alimentaires sur la planète peut être évoquée dans le cadre du développement durable et du</td></tr>
<tr><td>Expliquer le devenir des aliments dans le tube digestif.
- Système digestif, digestion, absorption ; aliments et nutriments.
Relier la nature des aliments et leurs apports qualitatifs et quantitatifs pour comprendre l'importance de l'alimentation pour l'organisme (besoins nutritionnels).
- Groupes d'aliments, besoins alimentaires, besoins nutritionnels et diversité des régimes alimentaires.</td></tr>
<tr><td>Relier le monde microbien hébergé par notre organisme et son fonctionnement.
- Ubiquité, diversité et évolution du monde bactérien (dont la résistance aux antibiotiques).
Expliquer les réactions qui permettent à l'organisme</td></tr>
</table>

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

de se préserver des micro-organismes pathogènes. - Réactions immunitaires. Relier ses connaissances aux politiques de prévention et de lutte contre la contamination et/ou l'infection. - Mesures d'hygiène, vaccination, action des antiseptiques et des antibiotiques.	changement climatique. La sensibilisation à l'égalité et au respect mutuel fille-garçon est à encourager.
Relier le fonctionnement des appareils reproducteurs à partir de la puberté aux principes de la maîtrise de la reproduction. - Puberté, organes reproducteurs, production de cellules reproductrices, contrôles hormonaux. Expliquer sur quoi reposent les comportements responsables dans le domaine de la sexualité : fertilité, grossesse, respect de l'autre, choix raisonné de la procréation, contraception, prévention des infections sexuellement transmissibles.	

Repères de progressivité

Activités musculaire, nerveuse et cardiovasculaire ; activité cérébrale

On peut partir des observations des modifications du fonctionnement cardiovasculaire lors de l'effort musculaire pour identifier progressivement les relations qui existent entre les différents systèmes et le fonctionnement des muscles. L'étude du mouvement ou de l'adaptation cardio-respiratoire permet dès le début du cycle de découvrir l'organisation fonctionnelle du système nerveux, y compris au niveau cellulaire. Cependant, les mécanismes nerveux à l'échelle cellulaire et le fonctionnement cérébral ne seront développés qu'à partir de la 4e. Tout au long du cycle, le lien est fait avec l'éducation à la santé.

Alimentation et digestion

Ce thème peut être abordé à tout moment, mais on réserve l'étude des mécanismes moléculaires à la classe de 3e. On veille à ce que l'éducation à la santé accompagne l'étude à différents moments.

Relations avec le monde microbien

À partir des exemples rencontrés dans le programme du cycle 4, on découvre progressivement l'importance du monde microbien hébergé par l'organisme. On aborde également tout au long du cycle les mécanismes concernant les mesures d'hygiène, la vaccination et les antibiotiques, en découvrant quelques manifestations de l'immunité dont l'explication globale est atteinte en classe de 3e.

Reproduction et sexualité

L'explication des mécanismes de la reproduction se construit au cours du cycle 4, du fonctionnement des organes aux phénomènes régulateurs, de l'échelle de l'organisme à l'échelle moléculaire. On veille à ce que les techniques de maîtrise de la procréation s'intègrent en cohérence avec les connaissances acquises.

L'étude des infections sexuellement transmissibles (IST) et de l'importance du monde microbien doit être menée en cohérence avec la programmation concernant le monde microbien.

Au fur et à mesure de l'acquisition des connaissances sur la reproduction, les élèves sont amenés à distinguer reproduction et sexualité et à argumenter les comportements responsables.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Croisements entre enseignements

De par la variété de leurs objets d'enseignements, les sciences de la vie et de la Terre se prêtent à de nombreux rapprochements et croisements avec d'autres disciplines : de la climatologie ou la gestion des risques naturels, avec l'histoire-géographie, aux sciences de la Terre avec la physique-chimie, en passant par la santé de l'organisme qui est liée à l'éducation physique, ou encore les biotechnologies qui mobilisent des connaissances de la discipline technologie.

Les sciences de la vie et de la Terre peuvent aussi établir des liens avec les disciplines artistiques et avec les langues : par exemple identifier les liens entre la manière de résoudre des questions scientifiques et la culture d'un pays ; exploiter une œuvre pour construire un savoir scientifique, ou encore interpréter certains éléments d'une œuvre grâce à sa culture scientifique.

Les outils des mathématiques et du français quant à eux, sont mobilisés en permanence dans le cours de sciences de la vie et de la Terre. Pour les recherches d'informations, le professeur documentaliste est sollicité.

On donne ci-dessous, pour chaque grande thématique de sciences de la vie et de la Terre ou conjointement pour les trois thématiques, quelques **exemples** de thèmes, non exhaustifs, qui peuvent être explorés avec plusieurs autres disciplines. Le changement climatique, la biodiversité et le développement durable se prêtent tout particulièrement à l'exploration. Les équipes enseignantes sont libres de les reprendre, tout comme d'en imaginer d'autres. Ces exemples de thèmes permettent à la fois de travailler les compétences de plusieurs domaines du socle, et de construire ou (re)mobiliser les connaissances dans différentes disciplines. Ils peuvent fournir des contenus pour les enseignements pratiques interdisciplinaires (EPI) ainsi que pour les parcours (parcours Avenir et parcours d'éducation artistique et culturelle).

- **Corps, santé, bien-être et sécurité**

En lien avec la géographie, l'éducation physique et sportive, la chimie, les mathématiques, la technologie, les langues vivantes, l'éducation aux médias et à l'information.

- **Aliments, alimentation humaine**, gestion mondiale des ressources alimentaires (production, transport, conservation); chaînes alimentaires incluant l'être humain ; concentration des contaminants ; produits phytosanitaires, OGM ; rôle des micro-organismes dans la production alimentaire ; cultures et alimentation ; épidémie d'obésité dans les pays riches ; sécurité alimentaire.

En lien avec l'éducation physique et sportive, les mathématiques, la chimie, la technologie.

- **Sport et sciences**, alimentation et entraînement ; respiration ; activité cardio-vasculaire ; physiologie de l'effort et dopage ; effort et système de récompense ; médecine, sport et biotechnologies ; imagerie médicale.

- **Sciences, technologie et société, Information, communication, citoyenneté**

En lien avec la géographie, l'éducation physique et sportive, la technologie, le français, les mathématiques, les langues vivantes, l'éducation aux médias et à l'information.

- **Santé des sociétés**, épidémies, pandémies au cours du temps ; maladies émergentes ; gestion de la santé publique, enjeux nationaux et mondiaux ; prévention (vaccinations, traitement de l'eau, etc.) ; campagnes de protection (ouïe par exemple) ou de prévention (consommation de tabac par exemple, qualité de l'air) ; sciences et transmission de la vie ; le rapport à la maîtrise de la reproduction dans différents pays ; statistiques, risque et gestion du risque ; sécurité routière.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

- **Transition écologique et développement durable, Sciences, technologie et société**

En lien avec la physique-chimie, l'histoire et la géographie, les mathématiques, le français, les langues étrangères et régionales, l'éducation aux médias et à l'information.

- **Météorologie et climatologie ;** protection, prévention, adaptation ; gestion de risques climatiques sur la santé humaine ; débat sur le changement climatique (de la controverse au consensus) ; notion de prévision ; modalités de réalisation des cartes de prévention et des PPRI des collectivités (Plan Particulier aux risques d'inondation).

En lien avec l'histoire et la géographie, la technologie, la physique-chimie, le français, les langues étrangères et régionales, les arts plastiques.

- **Les paysages qui m'entourent,** composantes géologiques et biologiques d'un paysage / composantes naturelles et artificielles ; l'exploitation des ressources par l'être humain (eau, matériaux, ressources énergétiques, sol et biodiversité cultivée) modèle les paysages ; paysagisme et urbanisme (réhabilitation de sites industriels, les friches et jardins dans la ville…) ; le rapport à l'eau dans différentes cultures ; histoire des techniques d'approvisionnement en eau.

En lien avec la physique-chimie, la technologie, les langues vivantes, les mathématiques, l'éducation aux médias et à l'information.

- **Énergie, énergies,** les flux d'énergie sur la Terre et leur exploitation par l'être humain (vents, courants, ondes sismiques, flux géothermique, etc.) ; le transfert d'énergie au sein de la biosphère ; le rapport aux énergies dans les différentes cultures…

En lien avec la géographie, les langues vivantes, le français…

- **Biodiversité,** préservation et utilisation de la biodiversité; sciences participatives ; biodiversité locale, biodiversité mondiale ; rapport à la biodiversité dans différentes cultures ; traçabilité des pêches, du bois ; impacts du changement climatique ; mondialisation et espèces invasives.

En lien avec la technologie, la chimie, les mathématiques.

- **Biotechnologies**, biomimétisme et innovations technologiques ; réparation du vivant, être humain augmenté ; handicap ; industrie du médicament ; industrie agro-alimentaire ; biotechnologies pour l'environnement (eau, déchets, carburants).

- **Sciences, technologies et sociétés**

En lien avec l'histoire, la physique-chimie, les mathématiques.

- **Théories scientifiques et changement de vision du monde**, Wegener et la dérive des continents ; Darwin et l'évolution ; la reproduction…

- **Cultures artistiques**

En lien avec les arts plastiques, la géographie, le français.

- ***Arts et paysages***, la reconstitution des paysages du passé dans l'art et dans la littérature. Création artistique dans les paysages : land art, etc.

En lien avec les arts plastiques, l'éducation musicale, la physique-chimie.

- **Sens et perceptions**, fonctionnement des organes sensoriels et du cerveau, relativité des perceptions ; jardin des cinq sens ; propagation de la lumière, couleurs ; défauts de vision et création artistique.

© Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports > www.education.gouv.fr

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

éduSCOL Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

CYCLES 2 3 4

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Inscrire son enseignement dans une logique de cycle

Les idées-clés pour enseigner

Thème 1 : la planète Terre, l'environnement et l'action humaine → 24 idées-clés

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Expliquer quelques phénomènes géologiques à partir du contexte géodynamique global. Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques. Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels (ex. : séismes, cyclones, inondations) ainsi que ceux liés aux activités humaines (pollution de l'air et des mers, réchauffement climatique, etc.) aux mesures de prévention (quand c'est possible), de protection, d'adaptation, ou d'atténuation.	• Le globe terrestre (dynamique interne et tectonique des plaques ; séismes, éruptions volcaniques). • Météorologie ; dynamique des masses d'air et des masses d'eau ; vents et courants océaniques. • Différence entre météo et climat ; les grandes zones climatiques de la Terre. • Les changements climatiques passés (temps géologiques) et actuels (influence des activités humaines sur le climat). • Les phénomènes naturels : risques et enjeux pour l'être humain. • Notions d'aléas, de vulnérabilité et de risque en lien avec les phénomènes naturels ; prévisions.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Mettre en relation les mouvements des plaques de lithosphère sur l'asthénosphère, également solide mais moins rigide avec séismes et éruptions volcaniques.
- Associer faille, séisme et mouvements de blocs rocheux et expliquer qu'ils témoignent de l'accumulation de tensions liées au mouvement des plaques lithosphériques.
- Associer le volcanisme, essentiellement explosif, aux zones de convergence lithosphérique (fosses océaniques) et le volcanisme, essentiellement effusif, aux zones de divergence (dorsales océaniques).
- Relier la tectonique des plaques à la dissipation de l'énergie thermique d'origine interne.
- Distinguer ce qui relève d'un phénomène météorologique et ce qui relève d'un phénomène climatique.
- Expliquer à l'échelle globale que les mouvements des masses d'air et des masses d'eau à l'origine des phénomènes météorologiques, et les grandes zones climatiques, sont en relation avec l'inégale distribution du rayonnement solaire à la surface de la planète.
- Identifier le couplage entre les mouvements des masses d'air (vents) et des masses d'eau (courants océaniques) et ses effets sur les climats.
- Repérer au moins un changement climatique passé (temps géologique) et ses origines possibles.
- Expliquer le réchauffement climatique actuel (influence des activités humaines sur le climat) et en envisager les effets à long terme.
- Mettre en relation un phénomène naturel (aléa) avec les enjeux présents sur une zone géographique déterminée, leur vulnérabilité et ainsi identifier et caractériser un risque.
- Identifier des mesures de prévention, de protection, d'adaptation ou d'atténuation en relation avec un risque.
- Expliquer ces mesures et argumenter des choix de comportements individuel et collectif responsables en matière de risque naturel.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
La Terre dans le système solaire.	• Le système solaire, les planètes telluriques et les planètes gazeuses. • Le globe terrestre (forme, rotation). • Ères géologiques.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Expliquer ce que la Terre a de spécifique et ce qu'elle partage avec différents objets du système solaire.
- Expliquer le rôle majeur du Soleil sur certaines des caractéristiques des planètes telluriques et gazeuses.
- Articuler la notion d'ères géologiques avec différents évènements géologiques et biologiques survenus sur Terre.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société. Comprendre et expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles à différentes échelles. Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales. Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices / nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.	• L'exploitation de quelques ressources naturelles par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques, etc.) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes. • Quelques exemples d'interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète).

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Caractériser quelques grands enjeux (aux niveaux régional et mondial) de l'exploitation de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables en lien avec les besoins en nourriture et les activités humaines.
- Relier la formation de ressources naturelles et différentes manifestations de l'activité du globe.
- Relier l'exploitation des ressources naturelles (gisement- gestion-renouvellement ou pas) et ses impacts à différentes échelles.
- Relier la vitesse de la production de biomasse et/ou de la formation des gisements à leur exploitation raisonnée.
- Expliquer les conflits d'usage ou d'exploitation pour quelques exemples de ressources naturelles.
- Identifier et caractériser des modifications, au cours du temps, de l'organisation et du fonctionnement de quelques écosystèmes en lien avec certaines actions humaines.
- Mettre en relation certaines activités humaines avec la biodiversité des écosystèmes et leurs dynamiques.
- Évaluer quelques effets des activités humaines en termes de bénéfices-risques pour les écosystèmes et pour les êtres humains.
- Relier le fonctionnement des écosystèmes au cours du temps à des mesures de d'atténuation, de prévention ou de réhabilitation.
- Expliquer ces mesures et argumenter des choix de comportements individuel et collectif responsables en matière de protection environnementale.

Thème 2 : le vivant et son évolution → 27 idées-clés

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Relier les besoins des cellules animales et le rôle des systèmes de transport dans l'organisme. Relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne, les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante.	• Nutrition et organisation fonctionnelle à l'échelle de l'organisme, des organes, des tissus et des cellules. • Nutrition et interactions avec des micro-organismes.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Expliquer la transformation des aliments en nutriments lors de la digestion, sous l'action d'enzymes et le passage des nutriments vers le milieu intérieur.
- Relier des systèmes digestifs à des régimes alimentaires (phytophages ; zoophages).
- Expliquer que les cellules animales utilisent de la matière organique et de la matière minérale pour produire leur propre matière organique.
- Relier le passage du dioxygène des milieux de vie au niveau des appareils respiratoires aux caractéristiques des surfaces d'échanges.
- Relier les systèmes de transport (appareil circulatoire endigué ou non ; milieu intérieur) aux lieux d'utilisation et de stockage des nutriments (besoins des cellules ; tissus de stockage).
- Relier les systèmes de transport et l'élimination des déchets produits au cours du fonctionnement cellulaire.
- Relier la présence de micro-organismes dans le tube digestif à certaines caractéristiques de la digestion.
- Expliquer l'approvisionnement des cellules chlorophylliennes en eau, en sels minéraux et en dioxyde de carbone, pour satisfaire ses besoins nutritifs, en reliant les lieux de prélèvement et les systèmes de transport dans le végétal (circulation de la sève brute dans des vaisseaux conducteurs).
- Relier la production de matière organique au niveau des cellules chlorophylliennes des feuilles à l'utilisation de lumière et de matière minérale (photosynthèse) et les lieux d'utilisation et de stockage (circulation de la sève élaborée dans des vaisseaux conducteurs).
- Relier l'énergie nécessaire au fonctionnement des cellules animale et végétale à l'utilisation de dioxygène et de glucose.
- Expliquer que la nutrition minérale implique la symbiose avec des micro-organismes du sol.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations.	• Reproductions sexuée et asexuée, rencontre des gamètes, milieux et modes de reproduction. • Gamètes et patrimoine génétique chez les Vertébrés et les plantes à fleurs.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Relier certaines modalités de la reproduction sexuée (oviparité/viviparité ; fécondation externe/interne ; reproduction des plantes à fleurs) aux pressions exercées par les milieux.
- Expliquer la stabilité et la diversité des phénotypes des individus d'une population par les mécanismes de la reproduction sexuée (production de gamètes apportant la moitié du patrimoine génétique de l'espèce et fécondation).
- Identifier des modes de reproduction asexuée.
- Relier la reproduction asexuée à une stabilité des phénotypes entre générations.
- Relier les modes de reproduction (sexuée et asexuée), les conditions du milieu (rareté ou abondance des ressources alimentaires, des prédateurs, des conditions physicochimiques, etc.) à la dynamique des populations.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution.	• Caractères partagés et classification. • Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Argumenter le degré de parenté entre des organismes actuels et/ou fossiles à partir des caractères partagés.
- Argumenter l'histoire évolutive de grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, en exploitant différents faits (caractères des espèces actuelles et fossiles ; liens de parenté entre espèces actuelles et/ou fossiles ; données sur les paléo milieux de vie).

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus. Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement. Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité.	• Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation; diversité des relations interspécifiques. • Diversité génétique au sein d'une population ; héritabilité, stabilité des groupes. • ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Identifier des caractères propres à une espèce et distinguer un caractère des formes variables qu'il peut prendre chez les individus d'une même espèce : génotype et phénotype ; influence de l'environnement sur le phénotype.
- Expliquer que toutes les cellules d'un individu (à l'exception des gamètes) possèdent le même nombre de chromosomes par noyau à l'issue de la mitose.
- Relier l'ADN des chromosomes au support de l'information génétique.
- Relier l'apparition de nouveaux allèles à l'existence de mutations.
- Expliquer la diversité et l'héritabilité de caractères par le brassage de l'information génétique associé à la méiose et à la fécondation.
- Repérer et relier la biodiversité aux différentes échelles du vivant (écosystème, espèces et allèles).

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.	• Apparition et disparition d'espèces au cours du temps (dont les premiers organismes vivants sur Terre). • Maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Mettre en relation les modifications de la biodiversité au cours des temps géologiques avec des faits montrant l'évolution des groupes d'êtres vivants (apparition, disparition, diversification et raréfaction).
- Exploiter les traces fossiles permettant d'identifier les premiers organismes sur Terre.
- Expliquer l'évolution des espèces par des processus de sélection naturelle en mettant en relation les caractéristiques phénotypiques d'organismes issus du hasard de la reproduction avec des conditions qui les rendent plus aptes à se reproduire.

Thème 3 : le corps humain et la santé → 29 idées-clés

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Expliquer comment le système nerveux et le système cardiovasculaire interviennent lors d'un effort musculaire, en identifiant les capacités et les limites de l'organisme. Mettre en évidence le rôle du cerveau dans la réception et l'intégration d'informations multiples. Relier quelques comportements à leurs effets sur le fonctionnement du système nerveux.	• Rythmes cardiaque et respiratoire, et effort physique. • Message nerveux, centres nerveux, nerfs, cellules nerveuses. • Activité cérébrale ; hygiène de vie : conditions d'un bon fonctionnement du système nerveux, perturbations par certaines situations ou consommations (seuils, excès, dopage, limites et effets de l'entraînement).

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Relier les modifications du fonctionnement des systèmes cardiovasculaire (rythme cardiaque ; circulation vasculaire) et respiratoire, les besoins en dioxygène et en nutriments des cellules musculaires et la réalisation d'un effort physique.
- Expliquer les limites physiologiques à l'effort par certaines caractéristiques de l'organisme (muscle, systèmes cardiovasculaire et respiratoire).
- Mettre en relation un entraînement sportif responsable, une bonne hygiène de vie (alimentation, sommeil,...) et le fonctionnement et les capacités du système cardiorespiratoire.
- Argumenter l'intérêt d'adapter l'intensité de l'effort aux capacités de l'organisme par opposition au danger du surentraînement et du dopage.
- Identifier la nature et le trajet du message nerveux (centres nerveux, nerfs, récepteurs et effecteurs).
- Expliquer la communication nerveuse, entre les cellules nerveuses, et entre les cellules nerveuses et musculaires.
- Identifier le rôle du cerveau dans l'intégration d'informations provenant de plusieurs sources (externes et internes) et dans l'élaboration de messages en lien avec la tâche à effectuer.
- Mettre en relation l'hygiène de vie et les conditions d'un bon fonctionnement du système nerveux et argumenter l'intérêt des politiques publiques en matière de santé pour comprendre les enjeux liés aux comportements individuels et collectifs (lois anti-drogues, anti-alcool, anti-tabac, anti-bruit...).
- Relier les conduites addictives (addictions au sport, aux jeux, aux substances psycho-actives,...) à leurs effets sur l'organisme (lien avec l'EMC).

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Expliquer le devenir des aliments dans le tube digestif. Relier la nature des aliments et leurs apports qualitatifs et quantitatifs pour comprendre l'importance de l'alimentation pour l'organisme (besoins nutritionnels).	• Système digestif, digestion, absorption ; nutriments. • Groupes d'aliments, besoins alimentaires, besoins nutritionnels et diversité des régimes alimentaires.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Expliquer le devenir des aliments dans le tube digestif par des transformations mécaniques et chimiques (enzymes issues des glandes digestives).
- Relier la digestion des aliments en nutriments et leur absorption ; expliquer l'importance des micro-organismes dans ces deux processus.
- Relier l'absorption des nutriments, la circulation générale et la distribution des nutriments dans tout l'organisme pour couvrir les besoins des cellules.
- Relier la nature des aliments (groupes d'aliments), leurs apports qualitatifs et quantitatifs aux besoins nutritionnels.
- Mettre en relation régimes alimentaires, flores intestinales et fonctionnement de l'organisme.
- Mettre en relation les régimes/habitudes alimentaires et différents équilibres alimentaires et argumenter l'intérêt de politiques de prévention liées à l'alimentation en matière de préservation de la santé.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Relier le monde microbien hébergé par notre organisme et son fonctionnement. Expliquer les réactions qui permettent à l'organisme de se préserver des micro-organismes pathogènes. Argumenter l'intérêt des politiques de prévention et de lutte contre la contamination et/ou l'infection	• Ubiquité, diversité et évolution du monde bactérien. • Réactions immunitaires. • Mesures d'hygiène, vaccination, action des antiseptiques et des antibiotiques.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Relier l'ubiquité, la diversité et l'évolution du microbiote humain à une protection accrue et efficace de l'organisme.
- Identifier la nécessité d'un équilibre entre mesures d'hygiène et le maintien du microbiote.
- Expliquer la reconnaissance, la neutralisation et l'élimination des micro-organismes pathogènes par des réactions immunitaires (rôle de cellules et de molécules effectrices, leucocytes, anticorps ; rôle des cellules mémoires).
- Expliquer l'utilisation des antiseptiques dans la lutte efficace contre la contamination.
- Expliquer l'efficacité des antibiotiques dans l'élimination de certains microbes et argumenter l'intérêt de leur usage raisonné.
- Expliquer comment la vaccination assure une acquisition préventive et durable d'une protection spécifique.
- Argumenter l'intérêt de politiques de prévention et de lutte contre la contamination et l'infection ; expliquer la limitation des risques à l'échelle collective par une application de mesures à l'échelle individuelle.

COMPÉTENCE(S) DU PROGRAMME	CONNAISSANCES ASSOCIÉES
Relier le fonctionnement des appareils reproducteurs à partir de la puberté aux principes de la maîtrise de la reproduction. Expliquer sur quoi reposent les comportements responsables dans le domaine de la sexualité.	• Puberté ; organes reproducteurs, production de cellules reproductrices, contrôles hormonaux. • Fertilité, grossesse, respect de l'autre, choix raisonné de la procréation, contraception, prévention des infections sexuellement transmissibles.

Idées-clés pour mettre en œuvre son enseignement

- Relier les changements liés à la puberté et le déclenchement du fonctionnement des organes reproducteurs.
- Expliquer le fonctionnement des appareils reproducteurs à partir de la puberté (production continue de spermatozoïdes tout au long de la vie ; libération cyclique d'un ovule) et le relier avec certains principes de la maîtrise de la reproduction (choix raisonné : contraception, aide à la procréation).
- Expliquer les contrôles hormonaux du fonctionnement des appareils reproducteurs et les relier avec certains principes de la maîtrise de la reproduction (aide à la procréation, contraception).
- Expliquer les conditions d'une fécondation (rapport sexuel, formation d'une cellule-œuf) et du déroulement d'une grossesse (implantation dans la muqueuse utérine, échanges placentaires) et les relier avec certains principes de la maîtrise de la reproduction (aide à la procréation, contraception).
- Expliquer les méthodes de prévention des infections sexuellement transmissibles.
- Expliquer la distinction entre reproduction et sexualité.
- Argumenter les enjeux liés aux comportements responsables dans le domaine de la sexualité.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

éduSCOL Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

CYCLES 2 3 4

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Mettre en œuvre son enseignement

La planète Terre, l'environnement et l'action humaine

L'ÉLÈVE APPREND À :

- explorer et expliquer certains phénomènes géologiques liés au fonctionnement de la Terre ;
- explorer et expliquer certains éléments de météorologie et de climatologie ;
- identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre ;
- envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

CETTE PARTIE DE PROGRAMME PERMET :

à l'élève de confronter son quotidien et l'actualité avec le réel observé sur le terrain ou en classe. Les élèves sont formés à développer une attitude critique vis-à-vis des grands médias et à comprendre et à argumenter grâce à la construction de notions le bien-fondé scientifique de certaines décisions ou réglementations publiques.
Cette discipline participe ainsi à l'éducation à la responsabilité citoyenne des élèves en matière de gestion des risques, de développement durable et de santé. L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre participe aussi de manière contextualisée et intégrée à l'enseignement moral et civique.

ENJEUX ÉDUCATIFS

L'élève apprend à :

- relier les aléas résultant de l'activité de la planète et les enjeux présents sur une zone géographique déterminée, à l'origine d'un risque pour les êtres humains ;
- argumenter que les êtres humains mettent en place des mesures de prévention, de protection, d'adaptation ou d'atténuation ;
- relier les ressources naturelles résultant de l'activité de la planète et leur exploitation par les êtres humains pour leurs besoins ;
- argumenter les choix en matière de comportements, individuel et collectif, responsables pour se protéger des risques et avoir une exploitation raisonnée des ressources.

DIMENSION SCIENTIFIQUE

L'élève doit expliquer les principales manifestations de l'activité du globe :

- géodynamique interne (tectonique des plaques, séismes, volcanisme) ;
- géodynamique externe mouvements des enveloppes fluides ;

Et les relier :

- à l'énergie interne du globe ;
- à l'énergie solaire.

Le programme

La Terre dans le système solaire

Le système solaire, les planètes telluriques, les planètes gazeuses
Le globe terrestre (forme – rotation)
Ères géologiques

Acquis des cycles précédents

À la fin du cycle 3, l'élève sait que l'état de la matière dépend de conditions externes et notamment de la température. Il connaît quelques propriétés physiques de la matière (par exemple, densité, solubilité, élasticité, etc.). Il a étudié la matière à grande échelle : la Terre, les planètes, l'Univers. Il est sensibilisé à la notion de masse. Il sait que la matière est un mélange de différents constituants. Il a été confronté à la notion d'énergie associée à un objet en mouvement, à l'énergie thermique et électrique. Il a identifié des sources et des formes d'énergie et il sait que le mouvement d'un objet est associé à des conversions d'énergie.

Il situe la planète Terre dans le système solaire : sa position, sa distance au Soleil, sa place parmi les planètes. Il relie rotation de la Terre et alternance jour/nuit. Il connaît le cycle des saisons. Il sait caractériser l'atmosphère terrestre et connaît sa composition. Il ne connaît pas obligatoirement l'effet de serre. Son approche est principalement centrée sur la Terre.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- expliquer ce que la Terre a de spécifique et ce qu'elle partage avec différents objets du système solaire ;
- expliquer le rôle majeur du Soleil sur certaines des caractéristiques des planètes telluriques et gazeuses ;
- articuler la notion d'ères géologiques avec différents évènements géologiques et biologiques survenus sur Terre.

Précisions et limites

Le Soleil est appréhendé comme l'objet majeur du système autour duquel s'organisent les autres objets du système. Son importance en tant que source d'énergie est appréhendée au travers de ses effets sur l'organisation du système et les conditions physiques qui règnent sur les planètes. Il convient de caractériser la Terre dans la diversité des objets du système solaire et identifier sur les autres planètes des particularités partagées ou pas avec elle (dimensions, densité, enveloppes rocheuses, atmosphères, rotations).

Il peut être intéressant de relier cette partie avec celles relatives à la géodynamique interne et aux phénomènes météorologiques et climatiques de la Terre. Par exemple :

- les planètes telluriques présentent à leurs surfaces des indices d'un volcanisme passé ou actuel ;
- la rotation propre des planètes entraîne une dynamique de leurs enveloppes externes ;
- les planètes sont soumises à des degrés différents au flux d'énergie en provenance du Soleil.

Le traitement de cette partie pourrait s'inscrire dans une approche interdisciplinaire dans le cadre d'un EPI avec la Physique-Chimie et la Technologie. En SVT, il est possible de dégager à travers la mise en parallèle des observations directes faites sur la Terre et indirectement à l'aide des différentes sondes sur les autres planètes du système solaire que la Terre partage des caractéristiques communes avec Mercure, Venus et Mars en tant que planète tellurique et par opposition avec les planètes géantes gazeuses, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Pour aborder le découpage des temps géologiques en ères, il est possible de se fonder,

sans en faire un objectif notionnel à part entière, sur les indices apportés par les roches sédimentaires. Il est également possible dans le thème « Le vivant et son évolution », d'associer cette approche à la mise en évidence des modifications passées dans la biodiversité à travers l'étude des contenus fossilifères de roches sédimentaires d'âge différent mais de faciès identique.

Lorsque l'activité externe du globe est abordée, il est éventuellement possible d'établir que l'érosion est à l'origine de la formation de roches sédimentaires, mémoires de la biodiversité passée sur les variations de laquelle est fondé le découpage des temps géologiques en ères.

Continuité avec le lycée

En seconde générale, l'élève caractérise les conditions d'habitabilité de la Terre, il recherche les conditions de la possibilité de vie sur d'autres planètes. Il réalise que le cas de la Terre pourrait ne pas être unique et exister dans d'autres systèmes stellaires.

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Bibliographie :

Dossier Pour la Science

- Dossier Pour la Science N° 90 – Planètes naines, météorites, astéroïdes, comètes – Janvier - Mars 2016

Livre

- « Les roches, mémoire du temps » - Georges MASCLE (nouvelle édition 2014) - Éditeur : EDP sciences.

Sitographie :

- Site Planet-Terre – Moteur de recherche : planétologie, astronomie

Le programme

Quelques phénomènes géologiques

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Expliquer quelques phénomènes géologiques à partir du contexte géodynamique global.	Dynamique interne et tectonique des plaques ; séismes, éruptions volcaniques).

L'approche systémique est à adopter : les processus géologiques sont abordés en lien avec des enjeux en matière de risques naturels. Réciproquement, les enjeux doivent être traités de façon coordonnée avec les différentes notions scientifiques sans les limiter à une introduction, une conclusion ou un exemple isolé.

Acquis des cycles précédents

À la fin du cycle 3, l'élève caractérise et décrit les manifestations de l'activité interne de la Terre : séismes et éruptions volcaniques. Il les met en relation avec l'évolution d'un paysage. Il n'explique pas les mécanismes à l'origine des séismes et des éruptions volcaniques. Il ne les replace pas dans un contexte géodynamique global.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- mettre en relation les mouvements des plaques de lithosphère sur l'asthénosphère, également solide mais moins rigide avec séismes et éruptions volcaniques ;
- associer faille, séisme et mouvements de blocs rocheux et expliquer qu'ils témoignent de l'accumulation de tensions liées au mouvement des plaques lithosphériques ;
- associer le volcanisme, essentiellement explosif, aux zones de convergence lithosphérique (fosses océaniques) et le volcanisme, essentiellement effusif, aux zones de divergence (dorsales océaniques) ;
- relier la tectonique des plaques à la dissipation de l'énergie thermique d'origine interne.

Précisions et limites

L'objectif est de mettre en relation aléas conséquentiels de l'activité interne du globe et enjeux afin d'identifier et caractériser un risque pour l'être humain.

La compréhension de l'aléa s'appuiera autant que possible sur des observations de terrain (failles, indices de volcanisme, etc.) à l'occasion d'une sortie par exemple, soit à partir de ressources authentiques (lithothèque, banques de données, etc.).

Une mise en relation des phénomènes géologiques et de leur impact sur la biodiversité est possible.

À l'occasion de la construction de ces compétences, il peut être pertinent de s'appuyer sur les représentations obstacles des élèves.

L'élève n'explique pas les mécanismes de convection et de conduction à l'origine de l'évacuation du flux thermique interne. Il ne rentre pas dans les explications de l'origine du flux thermique et des mécanismes de la fusion partielle des roches à l'origine du magmatisme.

Il n'est pas attendu de l'élève qu'il établisse un lien de cause à effet entre les forces de traction à l'œuvre dans la subduction et les phénomènes distensifs constatés au niveau des dorsales.

La structure de la lithosphère n'est pas à aborder.

Dans le cadre de la partie sur la Terre dans le système solaire, il est envisageable de réinvestir les apprentissages de cette partie en cherchant des indices d'une tectonique des plaques sur Vénus ou Mars.

Continuité avec le lycée

En seconde, l'élève n'aborde aucun élément de géologie interne du globe.
Au cycle terminal : la tectonique des plaques est abordée à travers l'histoire du modèle. L'élève apprend comment la construction d'une théorie scientifique s'enracine dans une société et les préjugés de celle-ci. Les mécanismes à l'origine, de la convergence et de la divergence lithosphérique, et ceux de la mise en fusion partielle des roches sont explicités.

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Bibliographie :

- Géosciences – dynamique du système Terre - C. ROBERT et R. BOUSQUET – Éditions Belin – 2013
- Les Volcans du monde, séismes et tsunamis - Jacques-Marie BARDINTZEFF - Éditions Orphie - 3ème trimestre 2015

Sitographie :

- Conférence « Histoire de la Terre, un système global » par Pierre THOMAS, ENS Lyon - 13 décembre 2013

Le programme

Quelques phénomènes météorologiques et climatiques

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques.	Météorologie ; dynamique des masses d'air et des masses d'eau ; vents et courants océaniques. Différence entre météo et climat ; Les grandes zones climatiques de la Terre. Les changements climatiques passés (temps géologiques) et actuels (influence des activités humaines sur le climat).

L'approche systémique est à adopter : les phénomènes météorologiques et climatiques sont abordés en lien avec des enjeux en matière de risques naturels. Réciproquement, les enjeux doivent être traités de façon coordonnée avec les différentes notions scientifiques sans les limiter à une introduction, une conclusion ou un exemple isolé.

Acquis des cycles précédents

En cycle 3, l'élève a travaillé en géographie sur les réseaux hydrographiques et l'habitat littoral.

Il sait que l'état de la matière dépend de conditions externes et notamment de la température. il connaît quelques propriétés physiques de la matière (par exemple, densité, solubilité, élasticité, etc.). La matière qui nous entoure (à l'état solide, liquide ou gazeux), résultat d'un mélange de différents constituants. Il sait caractériser et mesurer un mouvement simple (trajectoire/vitesse).

Il a pris conscience que l'être humain a besoin d'énergie pour vivre, se chauffer, se déplacer, s'éclairer. Il a travaillé à partir d'exemples de sources d'énergie utilisées par les êtres humains : charbon, pétrole, bois, uranium, aliments, vent, soleil, eau et barrage, pile… Notion d'énergie renouvelable.

Il a décrit les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit, autour du Soleil, et cycle des saisons). Il sait relier certains phénomènes naturels traduisant l'activité externe de la Terre : phénomènes météorologiques et climatiques ; évènements extrêmes (tempêtes, cyclones, inondations et sècheresses, etc.) à des risques pour les populations.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- distinguer ce qui relève d'un phénomène météorologique et ce qui relève d'un phénomène climatique ;
- expliquer à l'échelle globale que les mouvements des masses d'air et des masses d'eau, à l'origine des phénomènes météorologiques, et les zones climatiques, sont en relation avec l'inégale distribution du rayonnement solaire à la surface de la planète ;
- identifier le couplage entre les mouvements des masses d'air (vents) et des masses d'eau (courants océaniques) et ses effets sur les climats ;
- repérer au moins un changement climatique passé (temps géologique) et ses origines possibles ;
- expliquer le réchauffement climatique actuel (influence des activités humaines sur le climat) et en envisager les effets à long terme.

Précisions et limites

L'objectif est de mettre en relation aléas résultant de l'activité externe du globe et enjeux afin d'identifier et de caractériser un risque pour l'être humain.

Si l'occasion s'y prête, il peut être intéressant de mettre en évidence des effets de site sur les mouvements de masses d'air et de masses d'eau à l'échelle locale. L'élève pourra être sensibilisé à des phénomènes évoqués dans les médias tels qu'el Niño, la Niña, etc.

Pour traiter de l'évolution du climat, les exemples seront choisis dans une échelle de temps qui est celle de l'humanité, mais quelques exemples sur les climats passés peuvent être évoqués (les glaciations du Quaternaire, impact des émissions volcaniques sur le climat, etc.). L'étude des climats présents est l'occasion d'interroger le passé : une région a-t-elle toujours connu le même climat ? Pour quelles raisons le climat s'est-il modifié ?

Une mise en relation de l'effet de serre et du réchauffement climatique, et de ses conséquences sur le climat puis de son incidence sur les modifications et la fréquence des aléas météorologiques associés est possible.

Il n'est pas attendu de l'élève qu'il entre dans le détail de la dynamique des masses d'air et des masses d'eau. Il n'est pas attendu de l'élève qu'il explique l'origine de l'inégale distribution du rayonnement solaire à la surface de la planète.

Continuité avec le lycée

En seconde, l'élève aborde la mise en relation entre l'utilisation de combustibles fossiles et les émissions de dioxyde de carbone. Il comprend que les combustibles fossiles sont une forme de mise en réserve de l'énergie solaire à l'origine de la biomasse produite et fossilisée. Il étudie les interférences entre ces émissions d'origine anthropique et le cycle du carbone. Il associe l'utilisation indirecte de l'énergie solaire reçue sur Terre dans le cadre du recours aux énergies renouvelables à travers les mouvements des masses d'eaux et des masses d'air.

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Bibliographie :

Dossier Pour la Science

- Dossiers Pour la Science : N° 89 Octobre - décembre 2015 - Climat, relever le défi du réchauffement.

Livre

- Climats : passé, présent, futur - Chloé MARÉCHAL, Marie-Antoinette MÉLIÈRES - Éditions Belin - novembre 2015

Sitographie :

- Colloque : Climats, énergie et société : le Collège de France et la COP21 – Édouard BARD

Le programme

Risques naturels

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels et ceux liés aux activités humaines aux mesures de prévention, de protection, d'adaptation ou d'atténuation	Les phénomènes naturels (ex : séismes, inondations, cyclones) : risques et enjeux pour l'être humain. Notions d'aléas, de vulnérabilité et de risque en lien avec les phénomènes naturels ; prévisions.

L'approche systémique est à adopter : les enjeux doivent être traités de façon coordonnée avec les différentes notions scientifiques sans les limiter à une introduction, une conclusion ou un exemple isolé.

Acquis des cycles précédents

À la fin du cycle 3, l'élève sait repérer et décrire des phénomènes traduisant l'activité interne de la planète (tremblements de terre, volcanisme). Il identifie également les évènements extrêmes (tempêtes, cyclones, inondations et sècheresses, etc.) liés à l'activité externe de la Terre. À partir d'un exemple local, il est capable d'identifier les conséquences d'un phénomène naturel et de relier ce phénomène à des risques pour la population.

L'élève peut avoir été sensibilisé, en fonction de sa localisation géographique, à des mesures de prévention (constructions parasismiques, digues, bassins de rétention, etc.).

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- mettre en relation un phénomène naturel (aléa) avec les enjeux présents sur une zone géographique déterminée, leur vulnérabilité et ainsi identifier et caractériser un risque ;
- identifier des mesures de prévention, de protection, d'adaptation ou d'atténuation en relation avec un risque ;
- expliquer ces mesures et argumenter des choix de comportements individuel et collectif responsables en matière de risque naturel.

Précisions et limites

L'objectif de cette partie est bien de relier des connaissances scientifiques sur les risques naturels aux mesures de prévention, de protection ou d'atténuation. Il n'est pas attendu une caractérisation exhaustive des aléas. De même, il convient de simplifier les plans de prévention et de protection, documents techniques et complexes, afin que leur exploitation soit adaptée à des collégiens.

L'érosion résultant de l'activité externe de la Terre pourra être abordée en tenant compte de l'effet éventuel de l'action humaine.

L'impact des pollutions sur la santé des êtres humains et des autres êtres vivants pourra faire l'objet d'une mise en relation avec d'autres thèmes du programme. L'approche de la notion de risque pourra s'appuyer sur les faits d'actualité auquel est soumis l'élève.

Les différentes règlementations visant à atténuer la vulnérabilité des enjeux pourront être justifiées en se fondant sur la connaissance scientifique de l'aléa. Cette compréhension permettra in fine de construire une responsabilité citoyenne individuelle, familiale et sociale pour adhérer aux choix prescrits dans un plan de prévention (PLU, PPRI, zonage sismique), de protection (dispositif d'alerte des populations) sur une zone géographique déterminée.

Continuité avec le lycée

En seconde, cette partie n'est pas abordée sauf éventuellement à travers les enseignements d'exploration.

En premières ES/L, la gestion des aléas et des risques naturels ou technologique sera réinvestie dans le thème spécifique aux sciences physiques intitulé « Le défi énergétique ».

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Bibliographie :

- Les traumatismes de la Terre, géologie des phénomènes naturels extrêmes - J-L. SCHNEIDER - Éditions Vuibert SGF - 2009 - 2013

Sitographie :

- Site risques majeurs
- Site prévention risque sismique (hébergé par le BRGM)
- Site Irstea : institut national de recherche en sciences et technologie pour l'environnement et l'agriculture

Le programme

Exploitation de quelques ressources naturelles

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société	L'exploitation de quelques ressources naturelles par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques,...) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes. Comprendre et expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles à différentes échelles.

Acquis des cycles précédents

L'élève a vu différents exemples de sources d'énergie utilisables par l'être humain parmi lesquelles certaines sont des ressources naturelles : bois, charbon, pétrole. Il s'est familiarisé avec la notion d'énergie renouvelable. Il a étudié un exemple de culture et un exemple d'élevage. Il connaît les besoins des plantes vertes et situe leur place dans les réseaux trophiques. Il connaît différentes familles de matériaux.

Il a appris à relier les besoins de l'être humain, l'exploitation des ressources naturelles et les impacts à prévoir et gérer notamment à partir de l'exploitation de quelques exemples (eau, pétrole, charbon, minerais, biodiversité, bois, sols, roches, etc.).

La mise en relation entre besoins et exploitation des ressources naturelles se fait à un niveau local ou sur des exemples familiers aux élèves ce qui permet de changer d'échelle.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- caractériser quelques grands enjeux (aux niveaux régional et mondial) de l'exploitation de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables en lien avec les besoins en nourriture et les activités humaines ;
- relier la formation de ressources naturelles et différentes manifestations de l'activité du globe ;

- relier la vitesse de la production de biomasse et/ou de la formation des gisements à leur exploitation raisonnée ;
- expliquer les conflits d'usage ou d'exploitation pour quelques exemples de ressources naturelles.

Précisions et limites

L'impact de l'exploitation des ressources naturelles pourra faire l'objet d'une mise en relation avec d'autres thèmes du programme.

L'interdépendance des territoires en matière des besoins et d'impact de d'exploitation de quelques ressources naturelles est abordée dans le programme de géographie, du cycle 4, thème 3 : « prévenir les risques, s'adapter au changement global ».

L'exhaustivité ne sera pas recherchée en établissant un catalogue des risques et des processus conduisant aux ressources exploitables par les êtres humains.

Les processus de formation de différentes ressources ne doivent pas faire l'objet d'une étude en soi.

La gestion des ressources naturelles doit être raisonnée pour tenir compte des besoins des êtres humains et des ressources limitées.

La politique de gestion des ressources naturelles peut être définies à différentes échelles ; des décisions prises dans un pays en fonction de ses besoins et de ses objectifs de développement peuvent impacter d'autres pays.

Les technologies peuvent favoriser une meilleure exploitation des ressources naturelles.

Continuité avec le lycée

En seconde :

- les processus de formation de différentes ressources sont abordés pour établir que la production de biomasse étant lente et les phénomènes géologiques conduisant à la formation d'un gisement étant exceptionnels et aussi très lents, l'exploitation de la ressource doit être gérée en fonction de la vitesse de renouvellement ou de son épuisement prévisible ;
- la discipline s'intéresse au sol en tant que ressource mondiale pouvant faire l'objet de compétition pour différents types d'exploitation (agriculture alimentaire destinée aux êtres humains, à l'élevage ou aux biocarburants par exemple).

En première, le thème « nourrir l'humanité » permet de faire une synthèse au niveau mondial des besoins et des enjeux en y associant la compétition entre les usages des ressources alimentaires.

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Sitographie :

- Développement durable – Environnement, énergie et société - Georges CALAS (cours, conférences, colloques…)

Le programme

Activités humaines et quelques questions environnementales

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales.	Quelques exemples d'interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète).
Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.	

Acquis des cycles précédents

À l'issue du cycle 3, l'élève sait identifier des impacts positifs et négatifs, générés par l'activité humaine dans un environnement. Les élèves appréhendent la notion de temps long (à l'échelle des temps géologiques) et la distinguent de celle de l'histoire de l'être humain récemment apparu sur Terre. Les matériaux utilisés sont comparés selon leurs caractéristiques dont leurs propriétés de recyclage.

Il a pu aborder des notions suivantes telles que l'être humain a toujours exploité les ressources de la Terre pour satisfaire ses besoins, l'impact environnemental des révolutions industrielles, de la société de consommation, le caractère réversible possible de l'action humaine dans le cadre par exemple d'une revalorisation du patrimoine régional.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- identifier et caractériser des modifications, au cours du temps, de l'organisation et du fonctionnement de quelques écosystèmes en lien avec certaines actions humaines ;
- mettre en relation certaines activités humaines avec la biodiversité des écosystèmes et leurs dynamiques ;
- évaluer quelques effets des activités humaines en termes de bénéfices-risques pour les écosystèmes et pour les êtres humains ;
- relier le fonctionnement des écosystèmes au cours du temps à des mesures de d'atténuation, de prévention ou de réhabilitation ;
- expliquer ces mesures et argumenter des choix de comportements individuel et collectif responsables en matière de protection environnementale.

Précisions et limites

L'exhaustivité n'est pas recherchée dans l'étude des questions environnementales et des impacts de l'activité humaine sur les écosystèmes. Les exemples d'écosystèmes choisis ne sont pas à étudier pour eux-mêmes.

Il est possible d'établir que certaines actions humaines historiques sont à l'origine de paysages caractéristiques et de milieux abritant une biodiversité spécifique et souvent exceptionnelle par l'existence de nombreuses espèces patrimoniales.

L'étude des perturbations des écosystèmes pourra être associée à celle de la dynamique des populations dans un contexte donné.

L'exploitation des évènements médiatiques de perturbations et/ou de restauration d'un écosystème pourra amener à argumenter les comportements responsables en matière de protection de l'environnement.

Retrouvez Éduscol sur

Un exemple de réglementation associé à l'étude de l'action des êtres humains sur l'environnement peut servir à argumenter des comportements responsables en matière de protection de l'environnement.

Il est possible de s'appuyer sur les biotechnologies pour appréhender la prévention ou l'atténuation de certaines perturbations et la restauration d'un écosystème en convergence avec l'enseignement de technologie, qui tout au long du cycle 4, vise l'appropriation d'objets techniques toujours mise en relation avec les besoins de l'être humain dans son environnement.

Continuité avec le lycée

En seconde, les élèves débattent de la part relative de l'action humaine sur les écosystèmes en lien avec les changements climatiques, et sur les actions de prévention, d'atténuation ou de réparation qui y sont associées.

Pour aller plus loin : à destination des professeurs

Sitographie :

- Conférences de Gilles BŒUF sur la biodiversité (2013-2014)

Liens avec les autres parties du programme du cycle 4

Associer le traitement des ères géologiques avec l'évolution dans le thème « Le vivant et son évolution » est envisageable.

Relier des modifications environnementales conséquentielles de l'activité interne ou externe du globe au thème « Le vivant et son évolution » également.

Relier la politique de gestion des risques d'exploitation et de gestion des ressources naturelles aux modifications de l'environnement et à ses conséquences sur la biodiversité au thème « Le vivant et son évolution » est possible.

Relier exploitation des ressources et conséquences sur la santé dans le thème 3 « Le corps humain et la santé » peut être intéressant.

Associer l'action humaine sur l'environnement avec des problématiques de santé publique du thème « Le corps humain et et la santé » ou avec la dynamique des populations du thème « Le vivant et son évolution » peut s'envisager.

Aide à la mise en œuvre : obstacle, pistes ou stratégies de mise en œuvre

Le terme de planète gazeuse est susceptible d'engendrer des représentations inexactes de la réalité des planètes géantes.

- Les représentations initiales sur la structure interne du globe sont souvent erronées : « l'intérieur du globe est en fusion totale », « le magma provient du noyau liquide », « la croûte flotte sur un océan de magma », « la création de lithosphère océanique au niveau des dorsales est le moteur de la tectonique des plaques », etc.
- Confusion possible entre les phénomènes météorologiques et climatiques due à la considération de mêmes grandeurs mais à différentes échelles de temps et d'espace.
- Partir des évènements météorologiques constatés sur des courtes périodes de temps et en interdisciplinarité avec les mathématiques et la physique-chimie pour découvrir que les variations climatiques s'effectuent sur des plus longues périodes.

- Confusion entre aléa et risque. Pour éviter cela, considérer des exemples de lieux ou l'aléa a la même intensité voire la même fréquence mais où les dommages encourus à la fois par les personnes et les biens sont différents.
- Vision manichéenne de l'exploitation des ressources. Pour éviter cela, considérer pour la mobilisation et la gestion d'une ressource naturelle dans un lieu donné, les différents enjeux, environnementaux, économiques, socioculturels et ceux liés à la santé, afin de comprendre la problématique de la gouvernance des ressources naturelles, qu'elles soient minières, foncières, forestières ou halieutiques.
- Les élèves doivent comprendre que les écosystèmes ne sont pas statiques, qu'ils évoluent et se complexifient dans le temps. La gestion de la biodiversité, nécessite donc de comprendre sa dynamique pour appliquer des stratégies adaptées d'aménagement et de gestion.

Orientations possibles avec différents parcours

Parcours Avenir

Découvrir les formations et les métiers liés :
- aux sciences de l'univers en établissant un partenariat avec les observatoires astronomiques ;
- à la compréhension et à la gestion des risques naturels ;
- à l'exploitation et à la gestion de ces ressources ;
- à l'étude et à la gestion des écosystèmes.

Parcours d'éducation artistique et culturelle

- Établir des partenariats afin de développer des projets interdisciplinaires scientifiques auprès des élèves. Exemple : site Planète Sciences
- Découvrir que volcanologie, sismologie, météorologie et climatologie sont des sciences pluridisciplinaires dont les données et les théories évoluent.

Parcours citoyen

- Connaître les risques et être capable de porter un jugement éclairé sur la gestion politique de ces derniers afin d'adopter un comportement responsable.
- Être capable de porter un jugement éclairé sur la mobilisation et la gestion politique des ressources naturelles et des écosystèmes.

Orientations possibles avec un EPI

La Terre dans le système solaire : physique-chimie et technologie.

Les concepts de source, de transfert et de conversion de l'énergie : physique – chimie, technologie, mathématiques.

Utilisation des instruments de mesures, analyse des objets techniques, exploitation de données : physique - chimie, technologie, mathématiques.

Les problèmes ou les réglementations liés à l'aménagement du territoire : histoire et géographie et/ou la technologie.

Risques naturels et monde économique et professionnel : physique - chimie, technologie, mathématiques, histoire et géographie, arts plastiques, EPS.

Les concepts de source, de transfert et de conversion de l'énergie : physique-chimie, technologie, mathématiques.

Les problèmes ou les réglementations liés à l'aménagement du territoire : histoire et géographie et/ou la technologie.

Certains aléas en relation avec des phénomènes géologiques ou météorologiques pourront être abordés dans le cadre d'un EPI avec la majeure partie des disciplines.

On peut envisager l'EPI « transition écologique et développement durable » impliquant autour de questions sociétales, la géographie, la physique – chimie, la technologie, les mathématiques mais aussi les langues étrangères (esprit DNL) et le français.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

éduSCOL Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

CYCLES 2 3 4

Le vivant, son évolution

L'ÉLÈVE APPREND À :

- expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps ;
- mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer :
  - la nutrition des organismes,
  - la dynamique des populations,
  - la classification du vivant,
  - la biodiversité (diversité des espèces),
  - la diversité génétique des individus,
  - l'évolution des êtres vivants.

CETTE PARTIE DE PROGRAMME PERMET :

- de poursuivre la construction du concept de vivant entamé depuis le cycle 2. L'élève est amené à étudier, à différentes échelles, ce qui caractérise le vivant :

Cette discipline participe ainsi à l'éducation à la responsabilité citoyenne des élèves en matière de gestion des risques, de développement durable et de santé. L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre participe aussi de manière contextualisée et intégrée à l'enseignement moral et civique.

  - à l'échelle des organismes, les modes de nutrition et de reproduction permettant de se maintenir dans un milieu,
  - à l'échelle de la population, les mécanismes assurant la stabilité et la variabilité des individus, les mécanismes expliquant la dynamique des populations et ceux impliqués dans l'évolution des espèces ;

- de mettre en œuvre une grande variété de démarches. L'expérimentation y trouve une place de choix ainsi que l'utilisation des modèles. Des démarches historiques peuvent être envisagées.

Cette partie participe pleinement à l'éducation citoyenne en luttant contre des préjugés raciaux ou ceux liés au genre. Elle permet de distinguer les faits des idées ainsi que les théories scientifiques et les croyances.

ENJEUX ÉDUCATIFS	DIMENSION SCIENTIFIQUE
L'élève met en relation la pérennité, la diversité et la dynamique du vivant avec les caractéristiques de l'environnement à différentes échelles de temps. Il se distancie ainsi d'une vision anthropocentrée du monde et peut mesurer l'impact des activités humaines à différentes échelles sur la biodiversité. L'éducation au développement durable trouve ici une entrée possible. L'élève distingue faits et idées, science et croyances. Il construit progressivement le concept d'évolution, étayé par des faits scientifiques et l'inscrit dans une démarche scientifique. Ce travail participe à l'éducation morale et civique notamment en luttant contre les préjugés.	**L'élève doit expliquer les grandes fonctions qui caractérisent le vivant :** • nutrition • reproduction **Et les relier à :** • la biodiversité • la dynamique des populations • l'hérédité • l'évolution

Le programme

Nutrition

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Relier les besoins des cellules animales et le rôle des systèmes de transport dans l'organisme.	Nutrition et organisation fonctionnelle à l'échelle de l'organisme, des organes, des tissus et des cellules. Nutrition et interactions avec des micro-organismes.
Relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne, les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante.	

Notions des cycles précédents

Au cours du cycle 3, les élèves ont complété leurs connaissances sur les plantes vertes. En observant des pratiques culturales et en menant des expérimentations, ils ont mis en évidence les principaux besoins : l'eau et les sels minéraux.

Le rôle du dioxyde de carbone n'est pas obligatoirement abordé en cycle 3.

A la fin du cycle 3, les élèves savent que les êtres humains, en fonction de leurs activités, ont des besoins alimentaires différents. Ils connaissent l'origine des aliments consommés et savent que les apports sont variables à la fois qualitativement et quantitativement. La notion de matière organique a été introduite : les élèves l'identifient comme de la matière produite par des êtres vivants.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- expliquer la transformation des aliments en nutriments lors de la digestion, sous l'action d'enzymes et le passage des nutriments vers le milieu intérieur ;
- relier des systèmes digestifs à des régimes alimentaires (phytophages ; zoophages) ;
- expliquer que les cellules animales utilisent de la matière organique et de la matière minérale pour produire leur propre matière organique ;
- relier le passage du dioxygène des milieux de vie au niveau des appareils respiratoires aux caractéristiques des surfaces d'échanges ;
- relier les systèmes de transport (appareil circulatoire endigué ou non ; milieu intérieur) aux lieux d'utilisation et de stockage des nutriments (besoins des cellules ; tissus de stockage) ;
- relier les systèmes de transport et l'élimination des déchets produits au cours du fonctionnement cellulaire ;

- relier la présence de micro-organismes dans le tube digestif à certaines caractéristiques de la digestion ;
- expliquer l'approvisionnement des cellules chlorophylliennes en eau, en sels minéraux et en dioxyde de carbone, pour satisfaire ses besoins nutritifs, en reliant les lieux de prélèvement et les systèmes de transport dans le végétal (tissus conducteurs de la sève brute) ;
- relier la production de matière organique au niveau des cellules chlorophylliennes des feuilles à l'utilisation de lumière et de matière minérale (photosynthèse) et les lieux d'utilisation et de stockage (circulation de la sève élaborée dans des tissus conducteurs) ;
- relier l'énergie nécessaire au fonctionnement des cellules animales et végétales à l'utilisation de dioxygène et de glucose ;
- expliquer que la nutrition minérale implique la symbiose avec des micro-organismes du sol.

Précisions et limites

Dans cette partie, il s'agit de traiter des fonctions de nutrition, il est donc attendu que les élèves expliquent comment les cellules peuvent produire, renouveler et stocker leur matière, comment elles transforment l'énergie (les fermentations ne sont pas au programme) et comment sont éliminés les déchets.

Les êtres vivants prélèvent de la matière dans leur environnement. Des systèmes de transport permettent de livrer les cellules, éloignées des lieux d'approvisionnement, qui utilisent la matière prélevée. Chez les végétaux chlorophylliens vasculaires, l'eau, les sels minéraux et le dioxyde de carbone prélevés ne sont pas modifiés avant leur lieu d'utilisation (la cellule chlorophyllienne) ; chez les animaux, la matière organique et en particulier les molécules complexes, sont simplifiées par l'action d'enzymes avant de pouvoir passer du milieu extérieur au milieu intérieur. Les enzymes sont présentées comme des molécules facilitant ces réactions chimiques. Elles sont abordées également dans la troisième partie du programme. L'étude exhaustive de la transformation des molécules organiques n'est pas attendue.

Une mise en relation des conditions de l'environnement et des variations du fonctionnement d'un organisme (métabolisme, mise en réserve, etc.) au cours des saisons peut être envisagée.

L'importance des micro-organismes dans la nutrition des organismes est à traiter chez les végétaux et chez les animaux. L'existence et les rôles des micro-organismes du tube digestif peuvent être envisagés, chez les vertébrés, dans le cas de la digestion de la cellulose.

Continuité avec le lycée

En seconde générale et technologique :

- l'élève réinvestira la synthèse de matière organique à partir d'eau et de sels minéraux et de dioxyde de carbone dans les parties chlorophylliennes de la plante et il identifiera ce que représente ce processus à l'échelle de la planète, c'est-à-dire l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère ;
- les élèves aborderont le métabolisme cellulaire et découvriront comment l'information génétique et les conditions du milieu contrôlent le métabolisme des cellules.

Le programme :

Reproduction sexuée et asexuée

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations.	Reproductions sexuée et asexuée, rencontre des gamètes, milieux et modes de reproduction. Gamètes et patrimoine génétique chez les Vertébrés et les plantes à fleurs.

Acquis des cycles précédents

Au cours du cycle 3, les élèves ont complété leurs connaissances sur le vivant (unité et parenté) et sa diversité. Ils ont mis en relation le peuplement d'un milieu avec les conditions de vie et ils ont pris conscience de changements des peuplements de la Terre au cours du temps. Ils sont capables d'identifier et caractériser les modifications subies par un organisme vivant au cours de sa vie en lien avec la reproduction (y compris l'être humain).

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- relier certaines modalités de la reproduction sexuée (oviparité/viviparité ; fécondation externe/interne ; reproduction des plantes à fleurs) aux pressions exercées par les milieux ;
- expliquer la stabilité et la diversité des phénotypes des individus d'une population par les mécanismes de la reproduction sexuée (production de gamètes apportant la moitié du patrimoine génétique de l'espèce et fécondation) ;
- identifier des modes de reproduction asexuée ;
- relier la reproduction asexuée à une stabilité des phénotypes entre générations ;
- relier les modes de reproduction (sexuée et asexuée), les conditions du milieu (rareté ou abondance des ressources alimentaires, des prédateurs, des conditions physicochimiques, etc.) à la dynamique des populations.

Précisions et limites

L'étude des mécanismes permettant le maintien des populations d'organismes constitue ici une première approche de la dynamique des populations. Il s'agit ici de montrer comment des populations se maintiennent dans un milieu grâce aux différentes modalités de reproduction et comment certains éléments peuvent influer sur elle : les relations interspécifiques avec, par exemple, les relations de prédation, les conditions du milieu avec, par exemple, la température, la disponibilité en eau ou d'éventuelles pollutions.

D'autres parties du programme permettent de relier la dynamique des populations à la génétique et à l'évolution. Ainsi l'étude des mécanismes liés à la diversité génétique d'une population permettent d'expliquer à la fois l'héritabilité des caractères et leur variabilité dans les générations successives. Les mécanismes de l'évolution permettent de relier à la fois l'effectif des populations, les phénotypes des individus qui la constituent et leur aptitude à se reproduire.

Il ne serait pas judicieux de rentrer dans le détail de la signification biologique du pollen et de l'ovule chez les plantes à fleurs.

La reproduction sexuée est associée à la stabilité et la variabilité des individus qui en sont issus, cela sera expliqué ici par l'intermédiaire des gamètes qui n'apportent que la moitié du stock génétique. Il est possible de se limiter ici à montrer que les gamètes possèdent deux fois moins de chromosomes que les autres cellules.

Continuité avec le lycée

Au lycée, cette partie est en lien avec les mécanismes de l'évolution qui seront repris en classe de seconde où la dérive génétique complètera la sélection naturelle abordée dès le cycle 4. Concernant la dérive génétique, les élèves découvriront que la fréquence allélique au sein d'une population peut évoluer à cause de phénomènes aléatoires impossibles à prévoir. Cette évolution est d'autant plus marquée que le nombre d'individus composant la population est petit.

Le programme

Relations de parenté

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants et l'évolution.	Caractères partagés et classification. Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.

Acquis des cycles précédents

Au cours du cycle 3, les élèves ont constaté une diversité des espèces, actuelles et passées. Ils ont appris à classer au moins des animaux en fonction de caractères partagés définis par les scientifiques ; ils ont identifié les degrés de parentés entre espèces et établi l'unité du vivant au niveau cellulaire. En exploitant ces faits, ils sont sensibilisés à l'idée d'une évolution du vivant.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- argumenter le degré de parenté entre des organismes actuels et/ou fossiles à partir des caractères partagés ;
- argumenter l'histoire évolutive de grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, en exploitant différents faits (caractères des espèces actuelles et fossiles ; liens de parenté entre espèces actuelles et/ou fossiles ; données sur les paléomilieux de vie).

Précisions et limites

Tout au long du cycle, il sera possible d'enrichir la classification : des nouveaux groupes sont constitués, les fossiles y sont intégrés dès que possible.

Les caractères dérivés qui doivent être pris en compte sont donnés aux élèves.

Un passage progressif d'une lecture de classification emboîtée à la lecture d'arbres de parenté qui construisent une histoire évolutive cohérente est souhaitable.

Continuité avec le lycée

Toutes les espèces actuelles et fossiles ont un degré de parenté plus ou moins important en fonction des innovations évolutives qu'elles partagent.

Le programme

Diversité

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus.	Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; diversité des relations interspécifiques.
Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement.	Diversité génétique au sein d'une population ; héritabilité, stabilité des groupes. ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.
Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité.	

Acquis des cycles précédents

Les élèves connaissent des cycles de développement, ils connaissent le rôle des deux sexes dans la reproduction sexuée.

Au cycle 3 et à l'occasion de l'étude de la répartition des êtres vivants et du peuplement des milieux, ils ont observé des interactions entre les êtres vivants et leur environnement. Ils identifient les modifications au cours des saisons en lien avec des conditions physicochimiques ; ils connaissent la notion d'écosystèmes et savent identifier un facteur à l'origine de leurs modifications. Ils comprennent donc que la biodiversité peut être modifiée et qu'elle constitue un réseau dynamique. Cette étude a été mise en lien avec des aménagements réalisés par l'être humain.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- identifier des caractères propres à une espèce et distinguer un caractère des formes variables qu'il peut prendre chez les individus d'une même espèce : génotype et phénotype ; influence de l'environnement sur le phénotype ;
- expliquer que toutes les cellules d'un individu (à l'exception des gamètes) possèdent le même nombre de chromosomes par noyau à l'issue de la mitose ;
- relier l'ADN des chromosomes au support de l'information génétique ;
- relier l'apparition de nouveaux allèles à l'existence de mutations ;
- expliquer la diversité et l'héritabilité de caractères par le brassage de l'information génétique associé à la méiose et à la fécondation ;
- repérer et relier la biodiversité aux différentes échelles du vivant (écosystème, espèces et allèles).

Précisions et limites

Cette partie permet de faire le lien entre l'information génétique des individus et les caractères qu'ils expriment. Le rôle de l'environnement sur cette expression est à montrer à partir d'exemples simples (coloration de peau lors de l'exposition au soleil chez l'être humain, modification de la couleur du pelage de certaines espèces en fonction de la température, production de pigments chez les cyanobactéries en fonction de la longueur d'onde de la lumière reçue, etc.).

Pour relier l'ADN des chromosomes au support de l'information génétique, un exemple de transgénèse peut être utilisé. Il permet alors de montrer que l'ADN est une molécule support de l'information génétique.

Il est possible de montrer que l'environnement, dans certaines conditions, modifie l'expression

des gènes des individus qui y sont exposés et de leurs descendances. Il est important de rester pour cette étude à l'échelle des organismes.

Il est possible également d'établir que certains caractères ne sont pas inscrits dans le patrimoine génétique mais qu'ils sont transmis de générations en générations par un apprentissage : chants des oiseaux, cultures chez les hominidés (chimpanzés, gorilles, êtres humains, etc.).

L'étude du comportement des chromosomes en anaphase de mitose suffit à expliquer le maintien du nombre de chromosomes dans les cellules au moment d'une mitose ; de même l'étude du comportement des chromosomes lors de la première division de méiose permet d'expliquer la réduction du nombre de chromosomes lors de la méiose.

La diversité des organismes issus de la reproduction sexuée s'explique par les mécanismes de la méiose et de la fécondation.

Les mécanismes chromosomiques du brassage de l'information génétique ne sont pas au programme du collège. En revanche, il faudra montrer que, lors d'une reproduction sexuée, qu'il est possible d'identifier de nouvelles combinaisons de caractères qui n'existaient pas chez les parents ce qui montre un brassage de l'information génétique. Cette étude est menée à l'échelle des phénotypes.

Continuité avec le lycée

En classe de seconde, l'élève découvrira comment une molécule, l'ADN, peut porter une information, en particulier avec l'enchainement des bases azotées ce qui permettra d'expliquer au niveau moléculaire les mutations. Il complètera les premières approches sur la sélection naturelle en approfondissant les caractéristiques de celle-ci et en associant la dérive génétique à la sélection naturelle. Cela viendra compléter sa vision des processus dynamiques de la diversité génétique et de la biodiversité.

Le programme

Évolution

COMPÉTENCES	CONNAISSANCES
Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.	Apparition et disparition d'espèces au cours du temps (dont les premiers organismes vivants sur Terre). Maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle.

Acquis des cycles précédents

À la fin du cycle 3, les élèves ont classé les animaux en fonction de caractères partagés définis par les scientifiques. La notion de parenté est établie, elle est mise en lien avec l'évolution des êtres vivants.

Les élèves ont identifié des changements des peuplements au cours des temps géologiques par la comparaison de la biodiversité passée et actuelle. L'humain est replacé en tant qu'espèce dans ce contexte.

Au cours du cycle, l'élève apprend à :

- mettre en relation les modifications de la biodiversité au cours des temps géologiques avec des faits montrant l'évolution des groupes d'êtres vivants (apparition, disparition, diversification et raréfaction) ;
- exploiter les traces fossiles permettant d'identifier les premiers organismes sur Terre ;
- expliquer l'évolution des espèces par des processus de sélection naturelle en mettant en relation les caractéristiques phénotypiques d'organismes issus du hasard de la reproduction avec des conditions qui les rendent plus aptes à se reproduire.

Précisions et limites

Pour les arguments permettant de connaître les premiers organismes sur Terre, une exploitation des traces de fossiles, en particulier les stromatolithes suffira.

Les indices biochimiques (rapport isotopique C^{12}/C^{13}) sont hors programme.

Des exemples actuels et passés peuvent être utilisés pour aborder les mécanismes de l'évolution. Il est possible de se placer à différentes échelles en montrant comment le milieu exerce aujourd'hui des pressions sur certaines populations d'organismes (phalènes du bouleau, moustiques du métro de Londres, bactéries et antibiotiques), et d'argumenter des modèles à l'échelle des temps géologiques.

Les exemples traités montreront que les mécanismes sont variés. Les individus d'une population peuvent disposer d'un avantage sélectif issu :

- de leur capacité intrinsèque à mieux se reproduire, par exemple la sélection sexuelle qui est l'un des mécanismes de la sélection naturelle ;
- de caractère(s) phénotypique(s) leur donnant un avantage dans le milieu de vie (facteurs intrinsèques en interaction avec des facteurs extrinsèques liés au milieu).

Continuité avec le lycée

En seconde générale et technologique, les mécanismes de l'évolution seront de nouveaux abordés ; la dérive génétique complètera cette étude.

Liens avec les autres parties du programme du cycle 4

Quelques pistes possibles :

- relier les concepts construits dans cette partie du programme à la thématique 3 (digestion, reproduction, hérédité, etc.) ;
- relier les modifications de la biodiversité au cours des temps géologiques à la définition des ères.
- relier l'étude de la biodiversité et des mécanismes qui expliquent la dynamique des populations à la première partie du programme et ainsi comprendre comment l'être humain interfère avec le vivant à différentes échelles de temps et d'espace.
- relier les études menées dans notre discipline aux compétences développées en physique-chimie : décrire la constitution et les états de la matière ; décrire et expliquer les transformations chimiques ; identifier les sources, les transferts, les conversions et les formes d'énergies.

Aide à la mise en œuvre (conceptions et obstacles, stratégies)

- Les représentations initiales du fonctionnement du végétal chlorophyllien vasculaire sont souvent erronées. Les élèves ont commencé son étude au cycle 3. Il faut être particulièrement vigilant à la construction de la respiration qui se déroule à tout moment pour transformer de l'énergie et la différencier de la production de matière lors de la photosynthèse.
- Un premier niveau d'explication de la relation entre gamètes et patrimoine génétique ne nécessite pas forcément de mobiliser des connaissances sur les chromosomes. Il est possible par exemple de s'appuyer sur la controverse scientifique entre animalculistes et ovistes pour amener à la compréhension du rôle des gamètes dans la transmission du patrimoine génétique.
- La diversité et la stabilité génétique des individus et les mécanismes génétiques qui y sont associés sont difficiles à assimiler pour les élèves. Il est conseillé de construire ces notions tout au long du cycle 4 et de ne pas attendre la classe de 3e pour aborder en un seul bloc la génétique.
- Lors de l'étude des arbres phylogénétiques, il faut comprendre que les fossiles trouvent leur place au bout des branches des arbres phylogénétiques car ils possèdent toujours des caractères dérivés propres qui les différencient des autres organismes. En conséquence, aux nœuds des branches, il n'est possible que d'établir le modèle d'un hypothétique ancêtre commun. La probabilité qu'un fossile représente cet ancêtre est infime.
- Envisager l'espèce sans entrer dans les difficultés de la définition du concept est conseillé, difficultés qui seront abordées en terminale.
- Tout au long de cette partie, un travail est à conduire pour éviter tout discours finaliste des élèves.

Orientations possibles avec les différents parcours

Parcours Avenir

Quelques pistes possibles pour découvrir les formations et les métiers liés :

- à l'étude de la nutrition des végétaux et des animaux (agronomie, agriculture, élevage, métiers de la distribution, etc.) ;
- à l'étude de la dynamique des populations, des écosystèmes, de la biodiversité (écologues, conseillers des parcs régionaux et nationaux, métiers en liens avec la qualité des milieux, etc.) ;
- à l'étude de la génétique (médecins, vétérinaires, généticiens, sélectionneurs, etc.).

Parcours d'éducation artistique et culturelle

Quelques pistes possibles :

- établir des partenariats avec des structures muséales et des structures scientifiques (musées d'histoire naturelle, instituts de recherche INSERM, INRA, etc.) ;
- utiliser des œuvres pour connaître la biodiversité actuelle et passée : peintures et gravures rupestres, sculptures, tableaux, photographies, livres naturalistes de différentes époques, textes, etc. ;
- utiliser des œuvres qui interrogent les mécanismes de l'hérédité, les mécanismes de l'évolution.

Parcours citoyen

Pistes possibles :

- expliquer comment des actions à l'échelle individuelle et collective interfèrent avec les grandes fonctions du vivant et comment elles les modifient, en lien avec la partie 1 du programme ;
- expliquer l'utilité des politiques d'aménagements de territoire pour favoriser la dynamique des populations et maintenir une biodiversité (création de corridors biologiques : trames vertes, bleues et noires, création de structures pour éviter le fractionnement des populations, etc.), en lien avec la partie 1 du programme ;
- argumenter contre des préjugés raciaux ou liés au genre en s'appuyant sur des arguments scientifiques liés en particulier à la génétique, en lien avec la partie 3 du programme ;
- expliquer l'utilité des politiques publiques de gestion des ressources naturelles et des écosystèmes, en lien avec la partie 1 du programme ;
- distinguer les faits des idées et expliquer ainsi les théories scientifiques en les distinguant des croyances.

Orientations possibles en relation avec un EPI

- Espèces invasives, actions préventives et curatives : mathématique, géographie, technologie.
- Biodiversité et aménagement du territoire (disparition des bocages, trames vertes, bleues et noires) : géographie, SVT, technologie.
- Histoire des concepts de l'évolution : lettres, SVT, langues et cultures de l'Antiquité.
- Génétique et écriture de fiction : lettres, SVT.
- La lutte biologique : SVT, physique-chimie, technologie.
- Terraformation d'une autre planète - Mars : SVT, physique-chimie, mathématique.
- Les OGM : EMC, SVT, technologie.

Retrouvez Éduscol sur

- Puits de carbone, agro carburant : utiliser les végétaux pour réduire les impacts de l'activité humaine sur les changements climatiques (parties 1 et 2 du programme) : géographie, physique-chimie, SVT.
- Contexte historique (politique, religieux et sociétal) et progrès scientifiques : histoire et géographie, SVT.
- Biodiversité et mouvements de populations : histoire et géographie, SVT.
- Le vivant : confrontation entre représentation imaginaire et réalité scientifique : arts plastiques, lettres, SVT, histoire.
- Biodiversités imaginaires au travers d'œuvres (littéraires, cinématographiques, picturales…) : arts plastiques, lettres, SVT.

Pour aller plus loin : à destination du professeur

Bibliographie :

Livres

- P.H. GOUYON « Aux origines de la sexualité » - Éditions Fayard - 2009
- S.J. GOULD « La vie est belle » - Éditions du Seuil - 1991
- G. LECOINTRE (Comprendre et enseigner la classification ; Guide critique de l'évolution ; Descendons-nous de Darwin ? Les petites pommes du savoir) - Éditions Le Pommier
- F. DE WAAL : « Le singe en nous » - Éditions Hachette Pluriel Références - 2011
- Questions clés SCIENCES - L'évolution, février-mars 2014

Dossiers Pour la Science :

- La valse des espèces juillet 2000
- L'évolution, rien ne l'arrête avril-juin 2009
- L'hérédité sans gènes, décembre 2013
- Les dossiers de la recherche :
- Mai 2010 La valse des espèces
- Novembre 2008 L'héritage Darwin

TDC Les origines de l'Homme décembre 2007

Sitographie :

La biodiversité

- cnrs.fr

La génétique et l'évolution :

- Des interventions de P.H GOUYON (hérédité, sélection naturelle…) sur le site universcience TV
- Site cndp sur l'évolution
- Modules de la plateforme d'enseignement et de formation à distance du Museum National d'Histoire Naturelle
- Approches interdisciplinaires de l'évolution
- Enseigner la classification et l'évolution du vivant (SVT)
- Site de l'INRP (phylogène)

Histoire des sciences :

- Vidéo sur la controverse entre animalculistes et ovistes

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

éduSCOL Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

CYCLES 2 3 4

Une nouvelle biologie, qui prend mieux l'évolution en compte

1. Le caractère aléatoire de l'expression génétique

Dans le numéro du journal Science du 16 août 2002 un article fit grand bruit. Un même gène, dans des cellules présumées identiques, dans un environnement identique, ne s'exprime pas de la même façon. C'est le fruit d'une variabilité fondamentale qui résulte du comportement aléatoire de la machinerie cellulaire, comportement que nous avons désormais les moyens techniques de détecter, et surtout la prédisposition intellectuelle pour l'accepter. En effet, nous aimions bien penser auparavant que l'ordre apparent à grande échelle (celui du « bon fonctionnement » de l'organisme) provient d'un ordre à petit échelle, ordre donné par des instructions, des donneurs d'ordre, un programme. L'expression aléatoire des gènes suivie de phénomènes sélectifs nous offre désormais à penser un ordre à grande échelle (celle de la population) à partir de variations désordonnées parmi la multitude à petite échelle. Le caractère stochastique, c'est-à-dire aléatoire, de l'expression génétique était démontré, et n'a fait que se confirmer depuis. Il a des répercussions désormais considérées comme capitales pour le destin des cellules. Pour comprendre le fonctionnement des cellules, et plus largement les régularités de l'organisme, les modèles mécanistes, réductionnistes et ultra-déterministes du rôle des gènes ont progressivement laissé la place à une biologie probabiliste, où le hasard et la sélection naturelle entrent au cœur même des cellules. Pour forcer le trait et mesurer l'ampleur du changement de point de vue, on pourrait dire que « l'ADN fonctionne comme un générateur aléatoire de protéines soumis à des contraintes sélectives imposées par son environnement (Pour La Science n° 385, novembre 2009, p. 90). Les journaux français de vulgarisation scientifique se feront l'écho de cette nouvelle biologie et de ses conséquences (La Recherche, Octobre 2009, Pour La Science, Novembre 2009, Pour La Science dossier spécial Décembre 2013).

2. La sélection naturelle entre dans le corps

À quoi sert la sélection naturelle ? Nous avons appris à l'école qu'elle expliquait l'évolution des espèces. Qu'elle expliquait le changement. La variation dans les populations d'êtres vivants se fait dans toutes les directions, pas nécessairement selon les besoins futurs des individus qui les subissent. Les individus ont donc des aptitudes différentes. Le nombre de descendants qu'ils auront, et donc celles des aptitudes héritables qu'ils transmettront, dépendent des conditions locales du milieu dans lequel ils sont. Si l'on peut se permettre une métaphore, « la variation propose, le milieu dispose ». Si le milieu change, à long terme, les populations, et donc l'espèce, vont changer. Certes, cela reste vrai aujourd'hui, mais c'est insuffisant. Au vingtième siècle, nous avons oublié qu'à court terme la sélection naturelle peut être stabilisatrice.

Il y a une raison à cet oubli. Au vingtième siècle, Ernst Mayr, l'un des principaux acteurs de la théorie synthétique de l'évolution, pratique ce qu'on appelle un « réalisme de l'espèce ». Pour lui, l'espèce est conçue ici et maintenant, en gros comme des populations dans lesquelles et entre lesquelles les gènes circulent. L'espèce est réelle. Pourtant, avec Simpson, l'espèce est conçue dans la profondeur du temps, et ce n'est qu'à cette condition que peut apparaître son caractère conventionnel, et non réel. Mais dans ce que va retenir la théorie synthétique de l'évolution, en gros entre 1937 et 1977, c'est que les espèces existent dans le monde matériel. Le rôle de la sélection naturelle va donc consister principalement à expliquer le changement des espèces. Pourtant, si l'on relit attentivement Charles Darwin, la sélection naturelle est d'abord une source de stabilisation. Elle ne sera une source de changements que si le milieu change significativement. Il est remarquable de constater que le sous-titre du fameux livre « L'Origine des espèces » ne comporte pas le mot « évolution », ni « transformation », ni « transmutation ». Il comprend le mot « préservation » : « L'Origine des espèces par le moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des races favorisées au cours de la lutte pour l'existence ». Pour résumer, pour Ernst Mayr, la sélection naturelle explique le changement de espèces ; pour Darwin la sélection naturelle explique la préservation momentanée d'une moyenne des organismes, une ressemblance à laquelle nous donnons un nom d'espèce. Pour Mayr, l'espèce est réelle, pour Darwin elle est conventionnelle. Mayr se demande pourquoi et comment ce qui est régulier (l'espèce) change, Darwin se demande pourquoi ce qui change tout le temps (les variations des individus) arrive encore à offrir à nos yeux une régularité (une ressemblance). Cet oubli du XX^{ème} siècle aura des conséquences considérables. En effet, la biologie aura besoin d'un principe de changement pour expliquer l'évolution des espèces, mais d'un principe de stabilité pour expliquer la régularité de la structure et du fonctionnement du corps et de ses organes. Comme la sélection naturelle n'est pas regardée comme un principe de régularité, elle ne sera pas utilisée en médecine ni en physiologie, ni en biologie moléculaire, ni en biochimie, aux échelles concernées. Ce principe de régularité résidera dans une métaphore importée en biologie depuis la cybernétique, celle du programme génétique. Dans le dernier tiers du XX^{ème} siècle, on enseignera encore à l'université que toutes les cellules d'un corps ont le même « programme », et même la même « information génétique », la différenciation cellulaire ne résultat que de l'allumage différents de diverses parties de ce même programme.

Aujourd'hui, nous savons que cela est faux. Au sein d'un même corps biologique, les cellules subissent et enregistrent des variations génétiques. Ces cellules se divisent, et lors de la mitose, transmettent ces variations. Nous sommes donc en face de cellules faisant état de variabilité et d'héritabilité, et à partir de là, de cellules sélectionnables. Le couple variation-sélection naturelle est massivement entré dans le corps comme source de régularités à la charnière XX^{ème}-XXI^{ème} siècle. Depuis la démonstration faite au niveau moléculaire du caractère aléatoire de l'expression génétique en 2002, la biologie d'aujourd'hui est mûre pour reconnaître que des phénomènes sélectifs à petit échelon sont source de stabilité, de régularités dans l'organisme à plus grande échelle, là où l'on mobilisait jadis la notion de « programme », devenue de moins en moins utile. Ces phénomènes ont commencé en immunologie, avant de toucher les neurosciences, le développement embryonnaire, et la cancérologie. Les bouleversements peuvent en être considérables. L'actualité nous démontre que l'évolution, et plus exactement la sélection naturelle, est utile à concevoir à tous les étages de la biologie.

Par exemple, deux articles récents montrent l'actualité des deux piliers de la théorie darwinienne de l'évolution pour l'interprétation des tumeurs cancéreuses. Ces deux piliers sont le principe de sélection naturelle, d'une part, et la filiation généalogique avec modification, d'autre part. S'agissant du premier pilier, Enriquez-Navas et al. consacrent les thérapies darwiniennes contre le cancer qui font de la sélection une source de stabilité. Pour comprendre de quoi il s'agit, faisons un petit retour en arrière. Tout d'abord, il faut savoir

qu'une tumeur cancéreuse détient une variabilité génétique considérable, supérieure à toute la diversité somatique partout ailleurs dans l'organisme. Jadis, nous pensions que pour guérir un patient, il fallait éradiquer les cellules tumorales prolifératives. D'où les traitements anti-cancéreux agressifs qui, à l'image des abus d'antibiotiques sur les populations de bactéries, finissaient par sélectionner involontairement des quelques cellules prolifératives résistantes au traitement (ce que les cancérologues appellent « competitive release »). Il s'en suivait parfois une bouffée de métastases qui tuait le patient. Le changement auquel nous assistons n'est pas que technologique, il est aussi dans nos idées : en réalité, les cellules sont prolifératives par défaut. C'est un équilibre sélectif et un dialogue cellulaire qui canalisent, régulent le potentiel prolifératif de chacune, exactement à l'image de ce qui se passe avec les espèces dans un écosystème. Ce qu'on croyait être la conséquence –la prolifération- n'est qu'un état par défaut, et ce qu'on croyait être la cause –la présence d'une mutation « driver » dans un gène- n'est qu'une prédisposition susceptible d'être canalisée, mais qui ne l'est pas en présence d'une instabilité sélective ou d'un déficit de dialogue. En cherchant à éradiquer les cellules tumorales, on ne rétablit ni dialogue, ni équilibre sélectif. On s'attaque à la conséquence, pas à la cause. Enriquez-Navas et al. montrent que les thérapies chimiques utilisant des raisonnements adaptatifs sont plus efficaces que les thérapies éliminatives. Les doses de substances anticancéreuses utilisant le coût en fitness du phénotype résistant sont fortes au début, puis aléatoires ensuite, pour maintenir une sélection naturelle modérée qui engage la tumeur dans une stabilité de cohabitation entre phénotypes cellulaires, laquelle requiert ensuite des doses décroissantes de substances. Ils montrent par là que les bonnes thérapies ne devraient pas être fondées l'éradication mais sur une biologie évolutionniste. Un autre article (Zhao et al.) s'intéresse à l'autre pilier, la filiation avec modification, en montrant que l'on peut reconstruire une phylogénie des cellules de la tumeur cancéreuse avec reconstruction des mutations somatiques ancestrales et inférence des temps de divergence entre lignées de cellules métastasiques. L'une des conclusions est que les cellules métastasiques ne sont pas nécessairement tardives dans la tumeur, mais peuvent apparaître dès le départ dans la tumeur primitive, et ceci avant même que le diagnostic ait eu le temps d'être dressé. La phylogénie permet de dresser l'ordre d'apparition des mutations signalétiques du cancer, permettant de développer des thérapeutiques anti-cancéreuses spécifiquement tournées vers ces mutations « signalétiques» primitives, et pour cela rendues plus efficaces. Les thérapies anti-cancéreuses vont être profondément revues, conséquence de l'introduction de la sélection naturelle comme principe de compréhension des phénomènes du corps.

3. Heritabilité étendue

Depuis une vingtaine d'années la biologie adopte une plus grande flexibilité concernant l'héritabilité. Ce qu'une population transmet à la génération suivante n'est plus qu'une affaire d' « information génétique » qui serait codée dans le fameux ADN. Tout ce qui varie et qui se transmet est susceptible de subir, à l'échelle de la population, les effets de la sélection naturelle, et donc de concerner ce qu'on appelle l'évolution. Certes, les gènes continuent de transmettre ; seulement voilà ils ne sont plus les seuls. Une partie de ce que subit l'individu laisse des marques chimiques sur cet ADN, des « étiquettes » qui conditionnent la « lecture » des gènes. Ce sont les marques épigénétiques. Certes, une mère transmet une partie de ses gènes à son enfant, cependant elle lui transmet aussi, après sa naissance, sa flore du tube digestif. Et l'on sait aujourd'hui à quel point celle-ci est importante pour la santé et le phénotype de l'individu. Il en va de même pour la flore cutanée. Par exemple, une phylogénie des acariens de la flore cutanée résidente a été faite, elle correspond parfaitement à la généalogie des familles. Cela signifie que la transmission est assez fidèle. C'est la même chose pour les habitudes alimentaires qui, dans la population, ont tendance

en retour à sélectionner certains gènes intervenant dans l'assimilation de composantes de la nourriture. Cela est vrai à d'autres échelles d'observation : on sait aujourd'hui que des cellules somatiques (les cellules d'un même corps) présentent entre elles de la variation génétique. Comme ces cellules se divisent par mitoses, ces variations sont transmises, et sont donc susceptibles de subir au sein même du corps des effets sélectifs. Ces constats sont courants aujourd'hui dans les neurosciences, en immunologie, en cancérologie par exemple. L'héritabilité dont nous parlons concerne donc aussi d'autres niveaux d'analyse des phénomènes biologiques. L'évolution du XXI^{ème} siècle n'a plus les yeux rivés sur le seul ADN. C'est, « à tous les étages » d'un organisme que des caractéristiques sont susceptibles de varier et de se transmettre. Le gène est désormais un partenaire, pas un notaire.

Remarquons pour finir que l'on a coutume de dire que l'épigénétique annonce le retour de Lamarck. Cette idée courante est erronée à plusieurs titres. Premièrement parce qu'elle repose sur l'idée, en arrière-fond, que la différence entre Lamarck et Darwin résiderait dans l'héritabilité des caractères acquis au cours de la vie individuelle, qui serait admise par Lamarck et non par Darwin. C'est une erreur historique : Darwin l'admettait également (il ne connaissait pas les mécanismes fins de l'hérédité). Ce qui fait la différence entre ces deux auteurs tient surtout à deux idées. Lamarck s'intéresse à l'origine de la variation dans les populations, Darwin la tient pour acquise et s'intéresse surtout aux conséquences de la variation. Pour Lamarck, la variation apparaît en fonction des besoins de celui qui la porte, tandis que pour Darwin la variation apparaît au hasard, indépendamment de ces besoins. Pour Lamarck, le changement accumulé dans un lignage individuel reflète le changement de toute la population : il n'y a pas de différence de niveau entre aptitude et adaptation. Chez Darwin, ces deux niveaux sont découplés : les changements d'un lignage individuel ne reflète pas nécessairement la moyenne des changements stabilisés dans la population. Aptitude (de l'individu) et adaptation (de l'espèce) sont deux qualités distinctes qui correspondent à deux échelles d'observation. L'épigénétique moderne est darwinienne : en effet, les marques épigénétiques ne sont pas nécessairement bénéfiques aux individus qui les ont. L'héritabilité épigénétique des comportements et des effets du stress en est un exemple.

Enfin, et ce n'est pas nouveau, l'environnement intervient dans l'expression génétique, manifestant chez les organismes ce qu'on appelle une plasticité. Par exemple, chez certaines espèces de papillons, la couleur des ailes dépendra du degré d'humidité dans l'environnement. En retour, une bonne partie des organismes modifient leur environnement, ce qui fait que ce qui reste stable, ou bien évolue, ce sont même parfois des boucles d'interactions. Le gène dépend de ses protéines environnantes, il dépend de l'environnement, il est donc un partenaire, il n'est plus conçu comme un « régisseur absolu », le détenteur d'un programme. La biologie du XXIème siècle est donc à même de reconnaître l'évolution par sélection naturelle (ou dérive) à tous les niveaux de l'organisation biologique où l'on trouve de la variation et de l'héritabilité de cette variation, et l'on sait aujourd'hui que ces phénomènes ne concernent pas que les gènes. Cela ne bouleverse pas tant la théorie de l'évolution, cela bouleverse surtout la médecine et une certaine conception de la génétique (y compris la génétique du développement embryonnaire) qui, dans la seconde moitié du XXème siècle, furent trop centrées sur les gènes et le tout-ADN.

Dès lors, il n'existe pas un mécanisme différent pour expliquer le développement (l'ontogenèse) ou l'apparition et le maintien (le programme) d'un individu d'une part, et l'apparition et la stabilité d'une espèce d'autre part (la phylogénèse). C'est la sélection naturelle qui permet d'expliquer à la fois les stabilités relatives, et les changements lorsque l'environnement change, aux deux niveaux d'observation. D'où la proposition d'un nouveau mot, l'ontophylogenèse, pour redonner cohérence à la biologie.

Les conséquences de ces bouleversements, c'est que la biologie du XXIème siècle est moins centrée sur l'ADN et moins encline à parler de « programme génétique ». La métaphore est tellement revisitée qu'elle s'étiole et s'estompe. Il s'agit là de la fraction des chercheurs qui réfléchissent sur la biologie. Dans le public, dans les programmes scolaires récents et pour une majorité de chercheurs non biologistes, la biologie du XXème siècle, génocentrée, ADN-centrée, excessivement réductionnisme et déterministe, reste dans les esprits. La notion de gène reste importante, mais son statut et sa contribution sont au cœur des discussions. Si le gène n'est qu'un partenaire, alors la différence de statut entre « génotype » et « phénotype » s'estompe. La notion de « plan d'organisation » n'est qu'une métaphore mnémotechnique et utilitaire pour apprendre son anatomie comparée à l'université, pas une inscription dans la réalité biologique. On devrait lui préférer la métaphore utilitaire de « carte », laquelle a d'ailleurs le mérite de la clarté. Au demeurant, la pensée phylogénétique à elle seule est incompatible avec cette notion de « plan » (Lecointre, 2013). La notion d' « information génétique » est en débat, et l'on pourrait même dire que si on voulait la conserver il faudrait qu'elle soit redéfinie. Mais ce serait là l'objet d'un autre article.

Guillaume Lecointre

BIBLIOGRAPHIE

Quelques articles de fond, surtout récents et par ordre chronologique, attestant ces changements

Elowitz, M.B. et al. – « Stochastic, Gene expression in a single cell » - *Science* 297 (5584) - pp. 1183-1186 - 16 août 2002.

Laland, K. et al. - « Does Evolutionary theory need a rethink? » - *Nature* 514 - pp. 161-164 - 9 octobre 2014.

Enriquez-Navas P.M. et al. – « Science Translational » - *Medicine* 8 (327) - 24 février 2016.

Zhao et al. - PNAS 113 (8) - pp. 2140-2145 - 24 février 2016.

Kiberstis P.A. - *Science* 352 (6282) - pp. 163 - 8 avril 2016.

Turajlic S. & Swanton - *Science* 352 (6282) - pp. 169-175. - 8 avril 2016.

Willyard C. - *Nature* 532 - pp. 166-168. - 14 avril 2016.

Quelques livres et articles de vulgarisation pour aller plus loin

Dossier Pour La Science n°81 - « L'hérédité sans gènes » - Décembre 2013.

La Recherche - « Le hasard au cœur de la Vie » - n° 434 - octobre 2009.

Pour La Science – « Hasard et incertitude » - n°385 - novembre 2009.

Capp, Jean-Pascal - N*ouveaux regards sur les cellules souches* - Editions Matériologiques - 2015.

Heams, Thomas, Huneman, Philippe, Lecointre, Guillaume et Silberstein, Marc. *Les Mondes darwiniens. L'évolution de l'évolution*. - Seconde Edition - Editions Matériologiques - Paris 2011.

Kupiec, Jean-Jacques, Olivier Gandrillon, Michel Morange et Marc Silberstein (éditeurs) – *Le hasard au cœur de la cellule* - Editions Matériologiques - Paris 2009.

Lecointre, Guillaume – *Descendons-nous de Darwin ?* - Le Pommier - 2015.

Lecointre, Guillaume – « Mauvais plan ! »– *Espèces - revue d'histoire naturelle* - n°9 - pp. 58-59 - 2013.

Autres publications

Deutsch, Jean - *Le gène. Un concept en évolution* – Seuil – Paris - 2012

Gage, Fred et Muotri, Alysson – « Des gènes sauteurs dans le cerveau » - *Dossier Pour La Science* n°81 « L'hérédité sans gènes », pp. 18-23 - 2013.

Heams, Thomas. - « Biologie moléculaire : affronter la crise de la cinquantaine » -pp. 237-261 in Dubessy, Jean, Lecointre, Guillaume et Silberstein, Marc (éditeurs) - *Les matérialismes (et leurs détracteurs)* – Syllepse – Paris – 2004.

Heams, Thomas – « Vers une théorie probabiliste du vivant » - *Prisme* n°12 - publié par le Centre Cournot pour la recherche en économie – Paris -2008.

Heams, Thomas – « Expression stochastique des gènes et différenciation cellulaire » pp. 31-62 - in Kupiec, Jean-Jacques, Olivier Gandrillon, Michel Morange et Marc Silberstein (éditeurs) - *Le hasard au cœur de la cellule* - Editions Matériologiques – Paris - 2009.

Heams, Thomas – « Existe-t-il un programme génétique ? » - pp. 131-146 in Kupiec, Jean-Jacques - *La vie, et alors ?* – Belin – Paris - 2013.

Kupiec, Jean-Jacques - *L'origine des individus* – Fayard – Paris - 2008.

Kupiec, Jean-Jacques – *L'ontophylogenèse. Evolution des espèces et développement de l'individu*. - Collection Sciences en questions – Quae – Versailles - 2012.

Kupiec, Jean-Jacques - *La vie, et alors ?* – Belin – Paris - 2013.

Lewontin, Richard - *La triple hélice. Les gènes, l'organisme, l'environnement* – Seuil – Paris - 2003.

Longo, Giuseppe, Miquel, Paul-Antoine, Sonnenshein, Carlos, Soto Ann. - « Is information a proper observable for Biological organization ? » - *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 109 (3) – pp. 108-114 - 2012.

Mayr, Ernst. - *Principles of systematic zoology* - McGraw-Hill - New York - 1969.

Mayr, Ernst. - *Histoire de la biologie* – Fayard –Paris - 1982.

Annexe

Programme de sciences de la vie et de la Terre de seconde générale et technologique

Sommaire

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

Mise en œuvre du programme

Le numérique et les SVT

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Compétences travaillées

Thématiques étudiées

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Les enjeux contemporains de la planète

Corps humain et santé

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au lycée vise à dispenser une formation scientifique solide. Dans le prolongement du collège, il poursuit la formation civique des élèves. Discipline en prise avec l'évolution des connaissances et des technologies, les SVT permettent à la fois la compréhension d'objets et de méthodes scientifiques et l'éducation en matière d'environnement, de santé, de sécurité, contribuant ainsi à la formation des futurs citoyens.

Dans ses programmes, la discipline porte trois objectifs majeurs :

- renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences et, plus généralement, assurer l'acquisition d'une culture scientifique assise sur les concepts fondamentaux de la biologie et de la géologie ;
- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation civique en appréhendant le monde actuel et son évolution dans une perspective scientifique ;
- préparer les élèves qui choisiront une formation scientifique à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur et, au-delà, aux métiers auxquels elle conduit.

Pour atteindre ces objectifs, le programme de SVT en classe de seconde est organisé en trois grandes thématiques (chacune déclinée en plusieurs thèmes) :

La Terre, la vie et l'évolution du vivant

La science construit, à partir de méthodes de recherche et d'analyse rigoureuses fondées sur l'observation de la Terre et du monde vivant, une explication cohérente de leur état, de leur fonctionnement et de leur histoire.

Enjeux contemporains de la planète

Les élèves appréhendent les grands enjeux auxquels l'humanité sera confrontée au XXI^{e} siècle, ceux de l'environnement, du développement durable, de la gestion des ressources et des risques, etc. Pour cela, ils s'appuient sur les démarches scientifiques de la biologie et des géosciences.

Le corps humain et la santé

Les thèmes retenus permettent aux élèves de mieux appréhender le fonctionnement de leur organisme et de saisir comment la santé se définit aujourd'hui dans une approche globale intégrant l'individu dans son environnement et prenant en compte les enjeux de santé publique.

Dans ces trois thématiques, l'exercice de l'esprit critique est particulièrement nécessaire face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences.

Ces trois thématiques permettent également aux élèves de découvrir les métiers liés aux sciences fondamentales (recherche, enseignement), les métiers actuels ou émergents dans les sciences de l'environnement et du développement durable, en géosciences, en gestion des ressources et des risques, ainsi que les métiers liés aux domaines de la santé et du sport.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Mise en œuvre du programme

Le programme est conçu pour laisser une large part à l'initiative du professeur et/ou de l'équipe disciplinaire, et ainsi préserver leur liberté pédagogique qui porte sur :

- les modalités didactiques ;
- l'ordre dans lequel seront étudiés les thèmes et introduites les notions ;
- les exemples choisis ;
- le degré d'approfondissement pour aborder tel ou tel sujet, tout en préservant la logique d'un traitement équilibré du programme.

Le programme détermine les connaissances et les capacités que les élèves doivent acquérir pour réussir dans leur poursuite d'études, quelle qu'elle soit. Les activités expérimentales occupent une place centrale en SVT : pour répondre à un problème scientifique, l'élève examine la validité d'une hypothèse par la mise au point d'un protocole ; il confronte les résultats de l'expérience aux attentes théoriques ou à un modèle. Les études et prélèvements sur le terrain favorisent les apprentissages : les élèves mettent en œuvre des stratégies d'observation, d'échantillonnage, de recueil de données, qu'ils peuvent ensuite traiter avec des outils d'analyse. Activités expérimentales et sorties favorisent l'éducation à la sécurité et aux risques par le respect des règles de sécurité indispensables.

Le numérique et les SVT

Les SVT requièrent l'usage des outils numériques généralistes (Internet, tableurs) et le recours à l'expérimentation assistée par ordinateur, qui peut se prolonger par l'exploitation de capteurs connectés à des microcontrôleurs programmables. Elles doivent aussi développer de nouvelles compétences numériques chez les élèves : l'usage des bases de données scientifiques, de systèmes d'informations géoscientifiques, de la modélisation numérique, de la programmation, des calculs quantitatifs, voire de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Ce sont autant de possibilités offertes aux lycéens de manipuler les outils actuels des sciences du vivant et de la Terre, qui leur ouvrent de nouvelles perspectives de formation, comme la bio-informatique ou l'exploitation de données.

Une formation scientifique développe les compétences d'analyse critique pour permettre aux élèves de vérifier les sources d'information et leur légitimité, puis de distinguer les informations fiables. Ces démarches sont particulièrement importantes en SVT, qui font souvent l'objet de publications « pseudo-scientifiques », voire idéologiques : les professeurs de SVT contribuent à l'éducation des élèves aux médias et à l'information par un travail régulier d'approche critique des informations.

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Les SVT intègrent naturellement dans leurs pratiques les acquis des autres disciplines scientifiques, en particulier la physique-chimie et l'informatique, et utilisent les concepts et outils mathématiques. Le programme mobilise les apports de ces disciplines dans d'autres contextes, au nom d'autres usages et d'autres intérêts. Une attention particulière doit être portée à la cohérence du vocabulaire scientifique employé d'une discipline à l'autre.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Compétences travaillées

Compétences	Exemples de capacités associées
Pratiquer des démarches scientifiques	- Formuler et résoudre une question ou un problème scientifique. - Concevoir et mettre en œuvre des stratégies de résolution. - Observer, questionner, formuler une hypothèse, en déduire ses conséquences testables ou vérifiables, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser. Justifier et expliquer une théorie, un raisonnement, une démonstration. - Interpréter des résultats et en tirer des conclusions. - Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique. - Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes. - Savoir distinguer, dans la complexité apparente des phénomènes observables, des éléments et des principes fondamentaux. - Savoir distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique.
Concevoir, créer, réaliser	- Identifier et choisir des notions, des outils et des techniques, ou des modèles simples pour mettre en œuvre une démarche scientifique. - Concevoir et mettre en œuvre un protocole.
Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre	- Apprendre à organiser son travail. - Identifier et choisir les outils et les techniques pour garder trace de ses recherches (à l'oral et à l'écrit). - Recenser, extraire, organiser et exploiter des informations à partir de documents en citant ses sources, à des fins de connaissance et pas seulement d'information. - Coopérer et collaborer dans une démarche de projet.
Communiquer et utiliser le numérique	- Communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant. - Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique. - Utiliser des outils numériques. - Conduire une recherche d'informations sur internet en lien avec une question ou un problème scientifique, en choisissant des mots-clés pertinents, et en évaluant la fiabilité des sources et la validité des résultats. - Utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données.
Adopter un comportement éthique et responsable	- Identifier l'incidence (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles. - Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement en prenant en compte des arguments scientifiques. - Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé. - Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Thématiques étudiées

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- **L'organisation fonctionnelle du vivant**

Les niveaux d'organisation des êtres vivants pluricellulaires sont explorés. La notion de cellule spécialisée, avec ses caractéristiques structurelles et métaboliques, est reliée à une expression génétique spécifique.

L'étude des échanges de matière et d'énergie entre les cellules constitue une première approche des relations existantes entre les cellules d'un organisme, entre les organismes et entre les êtres vivants et leur milieu.

Ce thème appelle des activités pratiques variées qui s'appuient sur les techniques actuelles d'études et de représentation de l'organisation fonctionnelle des êtres vivants, de la cellule à l'organisme. L'étude des interactions entre les organismes s'étend à l'étude de la biodiversité à différentes échelles et du fonctionnement des écosystèmes.

L'organisme pluricellulaire, un ensemble de cellules spécialisées

Connaissances

Chez les organismes unicellulaires, toutes les fonctions sont assurées par une seule cellule. Chez les organismes pluricellulaires, les organes sont constitués de cellules spécialisées formant des tissus, et assurant des fonctions particulières.

Toutes les cellules d'un organisme sont issues d'une cellule unique à l'origine de cet organisme. Elles possèdent toutes initialement la même information génétique organisée en gènes constitués d'ADN (acide désoxyribonucléique). Cependant, les cellules spécialisées n'expriment qu'une partie de l'ADN.

Notions fondamentales *:* cellule, matrice extracellulaire/paroi, tissu, organe ; organite, spécialisation cellulaire, ADN, double hélice, nucléotides (adénine, thymine, cytosine, guanine), complémentarité, gène, séquence.

Objectifs : les élèves apprennent que les cellules spécialisées ont une fonction particulière dans l'organisme, en lien avec leur organisation et que la structure moléculaire de l'ADN lui permet de porter une information. Dans le cadre de l'étude des cellules organisées en tissus, il est attendu que l'existence d'une matrice extracellulaire soit connue : elle est constituée de différentes molécules qui, dans leur grande majorité, permettent l'adhérence cellulaire. Les molécules impliquées ne doivent pas être détaillées.

Capacités

- Réaliser et /ou observer des préparations microscopiques montrant des cellules animales ou végétales.
- Observer et analyser des images de microscopie électronique.
- Distinguer les différentes échelles du vivant (molécules, cellules, tissus, organes, organisme) en donnant l'ordre de grandeur de leur taille.

Précisions : un animal et une plante pourront servir de support à l'étude. Ainsi, la coexistence ou non de cellules autotrophes et de cellules hétérotrophes dans un même organisme pourrait être établie en relation avec le thème suivant.
La division cellulaire, déjà abordée au collège (cycle 4), ne donne pas lieu à des développements supplémentaires. La mitose sera étudiée dans l'enseignement de spécialité proposé au cycle terminal.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Le métabolisme des cellules

Connaissances

Pour assurer les besoins fonctionnels d'une cellule, de nombreuses transformations biochimiques s'y déroulent : elles constituent son métabolisme. Une voie métabolique est une succession de réactions biochimiques transformant une molécule en une autre. Le métabolisme dépend de l'équipement spécialisé de chaque cellule (organites, macromolécules dont les enzymes).

Notions fondamentales : métabolisme, autotrophe, hétérotrophe, organites, enzymes.

Objectifs : l'étude de quelques réactions du métabolisme, dont la photosynthèse, révèle que les êtres vivants échangent de la matière et de l'énergie avec leur environnement (milieu, autre organisme). Les voies métaboliques sont interconnectées par les molécules intermédiaires des métabolismes.

Capacités

- Expérimenter des réactions du métabolisme pour les caractériser.
- Mettre en œuvre des expériences pour identifier les substrats et produits du métabolisme.
- Schématiser des flux de matière et d'énergie au sein d'un organisme, entre les organismes et avec le milieu.

Précisions : le métabolisme est d'abord envisagé au niveau cellulaire. La nature, les mécanismes d'intervention des enzymes seront abordés dans le cadre de l'enseignement de spécialité proposé au cycle terminal.

- **Biodiversité, résultat et étape de l'évolution**

Ce thème prend appui sur l'étude de la biodiversité actuelle et passée à différentes échelles (diversité des écosystèmes, des espèces et des individus). L'origine de la diversité des êtres vivants est expliquée par l'étude des mécanismes de l'évolution qui s'exercent à l'échelle des populations, dont la sélection naturelle et la dérive génétique, ainsi que la spéciation. Elle montre aussi que les temps de l'évolution sont divers et liés au hasard (crise biologique, dérive génétique). Enfin, elle aborde la sélection sexuelle et son importance en termes évolutifs, en lien avec la communication dans une communauté d'organismes.

Ce thème est l'occasion d'observer concrètement le vivant. Il s'inscrit dans la continuité de l'étude de l'évolution biologique commencée au collège et poursuivie dans l'enseignement de spécialité du cycle terminal.

Les échelles de la biodiversité

Connaissances

Le terme de *biodiversité* est utilisé pour désigner la diversité du vivant et sa dynamique aux différentes échelles, depuis les variations entre membres d'une même espèce (diversité génétique) jusqu'aux différentes espèces et aux écosystèmes composant la biosphère.

La notion d'*espèce*, qui joue un grand rôle dans la description de la biodiversité observée, est un concept créé par l'être humain.

Au sein de chaque espèce, la diversité des individus repose sur la variabilité de l'ADN : c'est la diversité génétique. Différents allèles d'un même gène coexistent dans une même population, ils sont issus de mutations qui se sont produites au cours des générations.

Notions fondamentales : biodiversité, échelles de biodiversité, variabilité, mutation, allèle.

Objectifs : les acquis du collège sont mobilisés par l'étude de la biodiversité à différentes échelles. La définition de la notion d'espèce a pour principal critère le fait que les individus d'une même espèce peuvent se reproduire entre eux et engendrent une descendance viable et fertile.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Au cours de sorties de terrain, identifier, quantifier et comparer la biodiversité interindividuelle, spécifique et écosystémique.
- Mettre en œuvre des protocoles d'échantillonnage statistique permettant des descriptions rigoureuses concernant la biodiversité.
- Suivre une campagne d'études de la biodiversité (expéditions, sciences participatives, etc.) et/ou y participer.
- Caractériser la variabilité phénotypique chez une espèce commune animale ou végétale et envisager les causes de cette variabilité.
- Utiliser un logiciel de comparaison de séquence d'ADN pour identifier et quantifier la variabilité allélique au sein d'une espèce ou entre deux espèces apparentées.

Précisions : la notion de biodiversité est étudiée à travers un nombre limité d'exemples ; on ne recherche pas l'exhaustivité.

La biodiversité change au cours du temps.

Connaissances

La biodiversité évolue en permanence. Cette évolution est observable sur de courtes échelles de temps, tant au niveau génétique que spécifique.

L'étude de la biodiversité du passé par l'examen des fossiles montre que l'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du vivant. Ainsi, les organismes vivants actuels ne représentent-ils qu'une infime partie des organismes ayant existé depuis le début de la vie.

Les crises biologiques sont un exemple de modification importante de la biodiversité (extinctions massives suivies de diversification).

De nombreux facteurs, dont l'activité humaine, provoquent des modifications de la biodiversité.

Notions fondamentales : espèces, variabilité, crise biologique, extinction massive et diversification.

Objectifs : un lien est établi entre le constat d'une évolution rapide au travers d'exemples actuels et les variations de la biodiversité planétaire à l'échelle des temps géologiques et en interaction avec les changements environnementaux. Les élèves apprennent que la biodiversité évolue en permanence et que son évolution inclut des événements aléatoires. On présente quelques causes possibles d'une crise biologique à l'origine de perturbations importantes du fonctionnement des écosystèmes.

Capacités

- Extraire et mettre en relation des informations montrant des exemples actuels de diversifications génétiques ou de spéciations (populations de moustiques résistantes aux insecticides ; spéciation de pinsons des Galapagos, etc.).
- Étudier l'évolution de la biodiversité durant la crise Crétacé-Paléocène notamment avec le groupe des archosauriens et/ou les foraminifères marins (micro-organismes).
- Envisager les effets des pratiques humaines contemporaines sur la biodiversité (6^{e} crise biologique) comme un exemple d'interactions entre espèces dirigeant l'évolution de la biodiversité.
- Mobiliser les acquis du collège sur l'arbre du vivant en positionnant par exemple des organismes actuels ou fossiles rencontrés lors d'activités ou sorties (muséums d'histoire naturelle, etc.).

Précisions : les deux exemples de crises suggérées sont : (1) la limite Crétacé-Paléocène (dont les causes possibles [impact météoritique et crise volcanique] seront citées comme les

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

origines les plus probables sans être développées) et (2) la crise actuelle de la biodiversité souvent appelée par les auteurs scientifiques « 6e crise biologique ».

L'évolution de la biodiversité au cours du temps s'explique par des forces évolutives s'exerçant au niveau des populations

Connaissances

La dérive génétique est une modification aléatoire de la fréquence des allèles au sein d'une population au cours des générations successives. Elle se produit de façon plus rapide lorsque l'effectif de la population est faible.

La sélection naturelle résulte de la pression du milieu et des interactions entre les organismes. Elle conduit au fait que certains individus auront une descendance plus nombreuse que d'autres dans certaines conditions.

Toutes les populations se séparent en sous-populations au cours du temps à cause de facteurs environnementaux (séparations géographiques) ou génétiques (mutations conduisant à des incompatibilités et dérives). Cette séparation est à l'origine de la spéciation.

Notions fondamentales : maintien des formes aptes à se reproduire, hasard/aléatoire, sélection naturelle, effectifs, fréquence allélique, variation, population, ressources limitées.

Objectifs : on illustre la dérive génétique et la sélection sur une échelle de temps court afin de montrer que l'évolution peut être rapide.

Capacités

- Utiliser un logiciel de modélisation et/ou extraire et mettre en relation des informations pour illustrer la sélection naturelle et la dérive génétique sur des temps courts.
- Réfléchir sur les conséquences de l'apparition aléatoire de mutants sur la dynamique d'une population.
- Situer dans le temps quelques grandes découvertes scientifiques sur l'évolution.
- Expliciter la démarche sur laquelle repose une théorie scientifique à partir du travail mené sur l'évolution dans ce thème.

Précisions : sélection et dérive génétique sont abordées à partir d'un nombre limité d'exemples.

Communication intra-spécifique et sélection sexuelle

Connaissances

La communication dans le monde vivant consiste en la transmission d'un message entre un organisme émetteur et un organisme récepteur pouvant modifier son comportement en réponse à ce message.

La communication s'inscrit dans le cadre d'une fonction biologique (nutrition, reproduction, défense, etc.). Il existe une grande diversité de modalités de communication (chimique, biochimique, sonore, visuelle, hormonale).

Dans le monde animal, la communication interindividuelle et les comportements induits peuvent contribuer à la sélection naturelle à travers la reproduction. C'est le cas pour la sélection sexuelle entre partenaires (majoritairement faite par les femelles).

Des difficultés dans la réception du signal peuvent générer sur le long terme un isolement reproducteur entre organismes de la même espèce et être à l'origine d'un événement de spéciation.

Notions fondamentales : communication, émetteur, récepteur, comportement, vie solitaire, vie en société, dimorphisme sexuel.

Objectifs : on évoque la diversité des modalités de communication sans en décrire finement les mécanismes. On illustre d'autres éléments de sélection naturelle (sélection sexuelle).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Mettre en œuvre une stratégie d'étude d'un exemple de communication animale intra-spécifique (si possible en conditions réelles).
- Analyser des expériences montrant comment certains modes de communication ont été sélectionnés, que ce soit pour la survie ou la reproduction.
- Analyser avec un regard critique l'avantage de certains caractères sexuels extravagants du point de vue de la sélection naturelle : développement d'attributs liés à la reproduction chez le mâle (queue du paon, cornes des bovidés ou des scarabées, etc.).

Précisions : les caractéristiques de la communication entre organismes sont mises en évidence chez les animaux, dans le contexte de la sélection sexuelle, à partir d'exemples au choix du professeur. On n'attend pas d'exhaustivité.

Les enjeux contemporains de la planète

- **Géosciences et dynamique des paysages**

Dans ce thème, l'étude des paysages actuels permet de comprendre les mécanismes de leur évolution, le caractère inexorable de l'érosion et l'importance des mécanismes sédimentaires. Par de nombreuses manipulations, les élèves abordent également, dans une première approche, l'étude pétrologique qui sera ensuite enrichie dans l'enseignement de spécialité. Enfin, ils saisissent l'intérêt des géosciences pour comprendre le monde qui nous entoure mais aussi pour identifier les ressources utilisables par l'humanité et prévenir les risques.

L'érosion, processus et conséquences

Connaissances

L'érosion affecte la totalité des reliefs terrestres. L'eau est le principal facteur de leur altération (modification physique et chimique des roches) et de leur érosion (ablation et transport des produits de l'altération).

L'altération des roches dépend de différents facteurs dont la nature des roches (cohérence, composition), le climat et la présence de végétation.

Une partie des produits d'altération, solubles et/ou solides, sont transportés jusqu'au lieu de leur sédimentation, contribuant à leur tour à la modification du paysage.

Notions fondamentales : érosion, altération, modes de transports, sédiments.

Objectifs : les élèves comprennent qu'un paysage change inéluctablement avec le temps du fait de l'érosion ; ils identifient les agents d'érosion et leur importance.

Capacités

- Décrire la composante géologique d'un paysage local avec ses reliefs, ses pentes et ruptures de pente, et proposer des hypothèses sur leurs origines. Relier reliefs et circulation de l'eau.
- Extraire des données, issues de l'observation d'un paysage local, de manière directe (observations, relevés, etc.) et/ou indirecte (imagerie satellitaire).
- Relier la nature de la roche à sa résistance à l'altération.
- Relier l'intensité de l'altération avec l'importance du relief et les conditions climatiques.
- Étudier et modéliser les mécanismes de l'érosion des paysages (altération physico-chimique, transport).
- Étudier et identifier la fraction solide et les éléments solubles transportés par les cours d'eau.
- Relier la puissance d'un cours d'eau à sa capacité de transport des éléments solides.
- Identifier par des tests chimiques des éléments solubles issus de l'altération.
- Relier l'intensité de l'érosion avec la dynamique du vivant et des sols.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Précisions : Il ne s'agit pas de faire un catalogue exhaustif des différents paysages mais de choisir un paysage local et d'essayer d'en comprendre l'origine. Une étude exhaustive des processus, des produits de l'érosion et de leur variété suivant les climats n'est pas attendue.

Sédimentation et milieux de sédimentation

Connaissances

Il existe une diversité de roches sédimentaires détritiques (conglomérats, grès, pélites) en fonction de la nature des dépôts.

Les roches formées dépendent des apports et du milieu de sédimentation.

Ces roches sont formées par compaction et cimentation des dépôts sédimentaires suite à l'enfouissement en profondeur.

Notions fondamentales : sédiments, roche détritique, milieu de sédimentation.

Objectifs : on décrit dans ce thème le passage du sédiment à la roche sédimentaire en prenant l'exemple des roches détritiques.

Capacités

- Étudier, notamment en microscopie, quelques roches sédimentaires détritiques pour en déduire la nature des particules sédimentaires, leur morphologie et la nature du liant.
- Reconstituer un paléo-environnement de sédimentation à partir de l'étude d'une roche sédimentaire, en appliquant le principe d'actualisme.

Précisions : on ne développera pas les processus de diagénèse, on se limitera à indiquer l'importance de la compaction (avec perte d'eau liée à l'enfouissement) et la nécessité de la cimentation. Les professeurs choisiront des exemples de roches sédimentaires détritiques.

Érosion et activité humaine

Connaissances

L'être humain utilise de nombreux produits de l'érosion/sédimentation pour ses besoins. Par ailleurs, l'activité humaine peut limiter ou favoriser l'érosion, entraînant des risques importants dans certaines zones du globe. Des mesures d'aménagement spécifiques peuvent limiter les risques encourus par les populations humaines.

Objectifs : les élèves comprennent que l'érosion a des implications dans leur vie de tous les jours, tant du point de vue des matériaux utiles à l'humanité que des risques liés à l'érosion.

Capacités

- Identifier les produits d'érosion/sédimentation utilisés par l'humanité pour répondre à ses besoins dans les matériaux du quotidien.
- Identifier des zones d'érosion (déserts, littoraux, sols, éboulements) et les risques associés, comme les moyens de prévention mis en œuvre.
- Utiliser des bases de données ou des images pour quantifier l'importance des mécanismes d'érosion actuelle et éventuellement la part liée aux activités humaines.

Précisions : on s'appuiera ici sur un ou deux exemples de risques liés à l'érosion pour montrer que les sociétés humaines ont à prendre en compte ce risque. Une étude exhaustive de tous les risques n'est pas attendue.

- **Agrosystèmes et développement durable**

L'augmentation de la population mondiale (près de 8 milliards d'habitants en 2018) pose des défis majeurs, à la fois quantitatifs et qualitatifs, notamment en termes d'alimentation. La compréhension de cet enjeu par les élèves, futurs citoyens, est au cœur de cette thématique : on étudie les caractéristiques des agrosystèmes et identifie les conditions d'une

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

production durable à long terme, notamment grâce à la préservation des sols agricoles et des ressources aquatiques.

Ce thème est aussi l'occasion de montrer l'importance de l'acquisition de connaissances et de la mise en œuvre des démarches scientifiques et technologiques pour optimiser la production agricole en minimisant les nuisances à l'environnement.

Structure et fonctionnement des agrosystèmes

Connaissances

Les agrosystèmes terrestres ou aquatiques sont gérés afin de produire la biomasse nécessaire à l'humanité pour ses différents besoins (alimentaires, textiles, agrocarburants, pharmaceutiques, etc.).

Les caractéristiques des systèmes agricoles varient selon le modèle de culture (agriculture vivrière, extensive ou intensive).

Dans plusieurs modèles agricoles, l'exportation d'une grande partie de la biomasse produite réclame l'apport d'intrants pour fertiliser les sols.

Notions fondamentales : système ; agrosystème ; intrants (dont engrais et produits phytosanitaires) ; exportation ; biomasse ; production ; rendement écologique.

Capacités

- Recenser, extraire et organiser des informations issues du terrain (visite d'une exploitation agricole, par exemple), pour caractériser l'organisation d'un agrosystème : éléments constitutifs (nature des cultures ou des élevages), interactions entre les éléments (interventions humaines, flux de matière (dont l'eau) et d'énergie dans l'agrosystème), entrées et sorties du système (lumière, récolte, etc.).
- Comprendre que l'organisation d'un agrosystème dépend des choix de l'exploitant et des contraintes du milieu, et que ces choix tendent à définir un terroir.
- Comprendre comment les intrants ont permis de gérer quantitativement les besoins nutritifs de la population, tout en entraînant des conséquences qualitatives sur l'environnement et la santé.
- Réaliser des mesures et/ou utiliser des bases de données de biomasse et de production agricole pour comprendre la différence entre la notion de rendement agricole (utilisée en agriculture en lieu et place de production) et la notion de rendement écologique.

Précisions : l'étude de tous les types d'agrosystème ainsi que des écosystèmes naturels n'est pas attendue.

Caractéristiques des sols et production de biomasse

Connaissances

En dehors des agents érosifs, la nature et la composition des sols résultent aussi de l'interaction entre les roches et la biosphère, par le biais de plantes, d'animaux et de microbes. La biosphère prélève dans les sols des éléments minéraux participant à la production de biomasse.

En consommant localement la biomasse morte, les êtres vivants du sol recyclent cette biomasse en éléments minéraux, assurant la fertilité des sols.

Notions fondamentales : *notion de biomasse ; réseaux trophiques ; décomposeurs ; cycle de matière.*

Objectifs : l'organisation, la composition et l'origine des sols sont étudiées à partir d'un exemple local. L'influence de la nature du sous-sol sur les caractéristiques du sol est établie.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Comprendre (manipulation, extraction, organisation d'informations) les modalités de la formation des sols.
- Utiliser des outils simples de détermination d'espèces pour découvrir la diversité des êtres vivants du sol et leur organisation en réseaux trophiques.
- Expérimenter pour comprendre (à partir de la composition des engrais) l'importance des éléments minéraux du sol dans la production de biomasse.
- Concevoir et mener des expériences pour comprendre le recyclage de la biomasse du sol.

Précisions : l'étude exhaustive des conditions de formation des sols n'est pas attendue.

Vers une gestion durable des agrosystèmes

Connaissances

Les agrosystèmes ont une incidence sur la qualité des sols et l'état général de l'environnement proche de façon plus ou moins importante selon les modèles agricoles.

L'un des enjeux environnementaux majeurs est la limitation de ces impacts. La recherche agronomique actuelle, qui s'appuie sur l'étude des processus biologiques et écologiques, apporte connaissances, technologies et pratiques pour le développement d'une agriculture durable permettant tout à la fois de couvrir les besoins de l'humanité et de limiter ou de compenser les impacts environnementaux.

Objectifs : par la démarche scientifique, les élèves appréhendent une problématique liée à l'impact environnemental d'un agrosystème et envisagent des solutions réalistes et valides.

Capacités

- Étudier, dans le cadre d'une démarche de projet, des modèles d'agrosystèmes pour comprendre leurs intérêts et leurs éventuels impacts environnementaux (fertilité et érosion des sols, choix des cultures, développement de nouvelles variétés, perte de biodiversité, pollution des sols et des eaux, etc.).
- Adopter une démarche scientifique pour envisager des solutions réalistes à certaines de ces problématiques.
- Comprendre les mécanismes de production des connaissances scientifiques et les difficultés auxquelles elle est confrontée (complexité des systèmes, conflits d'intérêts, etc.).

Précisions : ce thème permet, à partir d'exemples choisis par le professeur, d'identifier des impacts liés aux agrosystèmes et les solutions mises en œuvre pour les réduire, sans chercher à être exhaustif.

Corps humain et santé

- **Procréation et sexualité humaine**

L'éducation à la sexualité qui a commencé dès l'école se fonde sur des connaissances scientifiques clairement établies. L'étude du thème « Procréation et sexualité humaine » gagne à être articulée au parcours éducatif de santé, en interaction avec les professionnels de santé de l'établissement et d'autres disciplines.

Corps humain : de la fécondation à la puberté

Connaissances

Dans le champ biologique, l'identité sexuée est fondée sur le sexe chromosomique et génétique qui induit les caractéristiques sexuelles anatomiques et physiologiques de la personne.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

La mise en place de l'organisation et de la fonctionnalité des appareils sexuels se réalise sur une longue période qui va de la fécondation à la puberté.

Notions fondamentales : hormones sexuelles (testostérone, progestérone, œstrogènes) ; organes cibles, follicules ; corps jaune ; cellules interstitielles ; tubes séminifères ; gène SrY ; gonades indifférenciées et différenciées.

Capacités

- Extraire et exploiter des informations de différents documents et/ou réaliser des observations microscopiques et/ou mettre en œuvre une démarche historique, pour identifier :
  - les relations entre sexe génétique et organisation anatomique et physiologique ;
  - le fonctionnement des organes génitaux au cours de la vie.
- Traduire certains mécanismes sous forme de schémas fonctionnels.

Précisions : le développement embryonnaire et fœtal des organes génitaux n'est pas étudié. Seul est montré le lien entre la présence du gène SrY et la transformation des gonades indifférenciées sans entrer dans le détail des mécanismes génétiques et moléculaires expliquant l'influence du sexe génétique sur le sexe phénotypique. L'étude des anomalies génétiques ou développementales n'est pas traitée de manière exhaustive.

Cerveau, plaisir, sexualité

Connaissances

Chez l'homme et la femme, le système nerveux est impliqué dans la réalisation de la sexualité. Le plaisir repose notamment sur des mécanismes biologiques, en particulier l'activation dans le cerveau du système de récompense.

Les facteurs affectifs et cognitifs ainsi que le contexte culturel ont une influence majeure sur le comportement sexuel humain.

Notions fondamentales : composante biologique de la relation entre sexualité et plaisir ; cerveau et système de récompense/plaisir dans l'espèce humaine ; structures cérébrales et composantes affectives, motivationnelles et cognitives.

Capacités

- Identifier les structures cérébrales qui participent aux processus de récompense à partir de documents et données médicales et expérimentales.
- Différencier, à partir de la confrontation de données biologiques et de représentations sociales, ce qui relève :
  - de l'identité sexuelle, des rôles en tant qu'individus sexués et de leurs stéréotypes dans la société, qui relèvent de l'espace social ;
  - de l'orientation sexuelle qui relève de l'intimité des personnes.
- Effectuer des comparaisons évolutives avec les comportements reproducteurs des autres mammifères.

Précisions : les autres composantes de la sexualité (psycho-affective et sociale) sont abordées. On veille à ne pas limiter la relation entre sexualité et plaisir à la seule composante biologique.
Les mécanismes cérébraux du plaisir sont étudiés seulement d'une façon globale (activation de zones cérébrales) sans explicitation des phénomènes cellulaires. Il s'agit de montrer que l'activité sexuelle dans l'espèce humaine est dépendante à la fois des hormones sexuelles et des zones cérébrales impliquées dans le plaisir et qui peuvent par ailleurs être activées en dehors des activités sexuelles.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Hormones et procréation humaine

Connaissances

Le fonctionnement de l'appareil reproducteur repose sur un dispositif neuroendocrinien faisant intervenir l'hypothalamus, l'hypophyse et les organes sexuels. La connaissance de plus en plus précise des hormones naturelles endogènes contrôlant les fonctions de reproduction humaine a permis progressivement la mise au point de molécules de synthèse exogènes qui leurrent ce système et permettent une maîtrise de la procréation, avec de moins en moins d'effets secondaires.

Chez la femme et chez l'homme, ces molécules de synthèse sont utilisées dans la contraception régulière (« la pilule »), la contraception d'urgence féminine, les hormones contragestives dans le cadre de l'interruption volontaire de grossesse (IVG) médicamenteuse, ainsi que la contraception hormonale masculine.

D'autres modes de contraception existent chez l'homme et la femme ; certains permettent de se protéger des infections sexuellement transmissibles (IST) et d'éviter leur propagation.

Selon les problèmes de stérilité ou d'infertilité, différentes techniques médicales peuvent être utilisées pour aider à la procréation : assistance médicale à la procréation (AMP), hormones pour permettre ou faciliter la fécondation et/ou la gestation.

Notions fondamentales : hormones et neurohormones hypothalamo-hypophysaires (FSH, LH et GnRH) ; modes d'action biologique des molécules exogènes.

Capacités

- Mettre en œuvre une méthode (démarche historique) et/ou une utilisation de logiciels (exemple : visualisation de modèles moléculaires, réalité augmentée) et/ou une pratique documentaire pour expliquer le mode d'action des molécules exogènes agissant comme des « leurres ».
- Recenser, extraire et organiser des informations pour relier les causes de stérilité ou d'infertilité au choix des modalités de l'assistance médicale à la procréation.
- Extraire et exploiter des données pour relier la prévention contre les IST (SIDA, hépatite, papillomavirus, etc.) à la vaccination ou l'utilisation du préservatif.
- Montrer les applications biotechnologiques découlant des connaissances scientifiques.

Précisions : la connaissance des différents types de rétrocontrôle n'est pas attendue. Il s'agit de montrer comment des molécules exogènes peuvent agir comme des « leurres » pour empêcher la production des ovocytes ou des spermatozoïdes, pour désynchroniser le fonctionnement de l'appareil reproducteur chez la femme ou empêcher le développement de la muqueuse utérine. Les mécanismes cellulaires de l'action des hormones, de même que les voies de leur synthèse, ne sont pas au programme. Le lien est établi entre certaines étapes des techniques de l'assistance médicale à la procréation ou d'interruption volontaire de grossesse et les connaissances scientifiques qui permettent de les expliquer et d'évoquer leur cadre éthique.

- **Microorganismes et santé**

Les élèves abordent deux types de relations entre l'être humain et les microorganismes et les replacent dans les écosystèmes dans lesquelles elles évoluent :

- des relations bénéfiques de type symbiotique où les microorganismes remplissent des fonctions contribuant à la santé de notre organisme ;
- des relations avec des agents pathogènes qui peuvent avoir une très grande importance en santé publique, en France comme au niveau mondial car ils sont responsables de potentielles flambées épidémiques.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Agents pathogènes et maladies vectorielles

Connaissances

Certaines maladies causées par des agents pathogènes sont transmises directement entre êtres humains ou par le biais d'animaux tels que les insectes (maladies vectorielles).

Les agents pathogènes (virus, certaines bactéries ou certains eucaryotes) vivent aux dépens d'un autre organisme, appelé hôte (devenu leur milieu biologique), tout en lui portant préjudice (les symptômes).

La propagation du pathogène se fait par changement d'hôte. Il exige soit un contact entre hôtes, soit par le milieu ambiant (air, eau), soit un vecteur biologique qui est alors l'agent transmetteur indispensable du pathogène (il assure la maturation et/ou la multiplication du pathogène).

Le réservoir de pathogènes peut être humain ou animal (malade ou non). La propagation peut être plus ou moins rapide et provoquer une épidémie (principalement avec des virus).

La connaissance de la propagation du pathogène (voire, s'il y en a un, du vecteur) permet d'envisager les luttes individuelles et collectives.

Les comportements individuels et collectifs permettent de limiter la propagation (gestes de protection, mesures d'hygiène, vaccination, etc.).

Le changement climatique peut étendre la transmission de certains pathogènes en dehors de leurs zones historiques.

Notions fondamentales : pathogène, vecteur, réservoir à pathogène, cycle évolutif, épidémie/endémie, modes de transmission, traitements, prophylaxie, vaccins, porteur sain.

Capacités

- Exploiter des bases de données permettant de connaître la répartition, la prévalence ou l'impact en termes de santé publique d'une maladie à transmission directe et/ou vectorielle.
- Exploiter des données issues de l'histoire des sciences pour comprendre la découverte des maladies liées à des pathogènes à transmission directe et/ou vectorielle et leurs traitements.
- Observer des frottis sanguins d'individus atteints de paludisme.
- Observer des appareils buccaux d'insectes vecteurs d'agents pathogènes.
- Exploiter des documents montrant les modes de lutte contre des maladies vectorielles en France et dans le monde.
- Identifier, dans le cas du VIH, les conduites limitant la propagation de la maladie.
- Appliquer les connaissances acquises à d'autres exemples choisis pour leur intérêt local ou de santé publique, et pour permettre aux élèves d'exercer les compétences attendues sur d'autres cas de maladies (chikungunya, dengue, maladie de Lyme, toxoplasmose, etc.).

Précisions : l'objectif n'est pas de faire connaître la grande variété des maladies causées par des pathogènes mais d'en faire comprendre les problématiques actuelles dans les pays en difficulté économique, politique et sanitaire ainsi que dans les pays à économie favorable, à partir d'un ou deux exemples actuels et sociétaux de maladies : on s'appuiera sur les exemples d'une maladie à transmission directe (VIH) et une à transmission vectorielle (paludisme).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Microbiote humain et santé

Connaissances

Le microbiote humain représente l'ensemble des microorganismes qui vit sur et dans le corps humain.

Les interactions entre hôte et microbiote jouent un rôle essentiel pour le maintien de la santé et du bien-être de l'hôte. La composition en microorganismes et la diversité du microbiote sont des indicateurs de santé.

Le microbiote se met en place dès la naissance et évolue en fonction de différents facteurs comme l'alimentation (présence de fibres) ou les traitements antibiotiques.

Le microbiote intestinal a un rôle indispensable dans l'immunité et dans la digestion. Certaines bactéries ont des propriétés anti-inflammatoires. Les travaux sur le microbiote établissent des corrélations entre des compositions du microbiote et des pathologies. La modulation du microbiote ouvre des pistes de traitement dans certains cas de maladies.

Certains microorganismes normalement bénins du microbiote peuvent devenir pathogènes pour l'organisme notamment en cas d'affaiblissement du système immunitaire.

Notions fondamentales : symbiose ; hôte et microbiote ; unicité et diversité du microbiote ; habitudes alimentaires et évolution du microbiote ; microbiote maternel et construction de la symbiose hôte-microbiote ; compétition entre microbes.

Capacités

- Calculer la proportion de microbes présents dans un individu par rapport à son nombre de cellules.
- Observer un frottis de bactéries du microbiote de vertébrés.
- Exploiter des expériences historiques établissant des relations entre bactéries et santé.
- Analyser, comparer, critiquer des informations sur les effets scientifiquement prouvés du microbiote et sur l'utilisation du microbiote en santé humaine.
- Savoir évaluer les précautions hygiéniques nécessaires au plus juste (fréquence et pertinence des lavages de mains et utilisation de gels hydro-alcooliques).

Précisions : les notions doivent être abordées avec un nombre limité d'exemples. La connaissance des pré ou probiotiques n'est pas attendue.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT COMMUN

BIODIVERSITÉ, RÉSULTAT ET ÉTAPE DE L'ÉVOLUTION

Thème

Thème 1 : La Terre, la vie et l'organisation du vivant.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Biodiversité – espèce – populations – effectifs - variabilité – crise biologique – évolution - sélection naturelle – sélection sexuelle – dérive génétique – hasard – facteur de l'environnement – impact des activités et des comportements humains – éducation au développement durable – communication intraspécifique – dimorphisme sexuel.

Enjeux éducatifs

Ce thème s'inscrit dans la continuité de l'étude de l'évolution biologique commencée au collège et poursuivie dans l'enseignement de spécialité SVT du cycle terminal. Il s'articule également avec certains thèmes de l'enseignement scientifique du tronc commun de terminale.

L'enjeu éducatif majeur de l'étude des thématiques liées à la biodiversité et aux écosystèmes est de permettre aux élèves d'appréhender de façon scientifiquement rigoureuse les questions liées à la biodiversité, de distinguer les questions qui relèvent du champ scientifique et d'être en mesure de mobiliser les savoirs et démarches scientifiques permettant de les traiter. L'objectif est de **leur permettre d'acquérir les savoirs et compétences sur lesquels fonder des comportements éthiques et responsables, informés et raisonnés, en toute conscience des responsabilités individuelle et collective de chacun**.

L'étude de l'impact, direct ou indirect, des activités humaines sur l'environnement s'appuiera sur un raisonnement systémique pour comprendre les enjeux, discuter de solutions envisageables et appréhender le la complexité des situations (diversité des acteurs et des enjeux). **La formation ainsi dispensée aux élèves contribue de fait à l'éducation au développement durable**[1].

Dans un contexte de déconnexion croissante entre l'être humain et la nature dans notre société, **ce thème est l'occasion d'observer concrètement le vivant sur le terrain**, de faire une étude qualitative, mais aussi quantitative de la biodiversité, de mobiliser les acquis sur les écosystèmes et leur fonctionnement. C'est également l'occasion de faire connaître aux élèves les **sciences participatives**, de leur permettre de s'y impliquer.

La biodiversité ne doit pas être considérée comme une collection figée, mais c'est sa dynamique aux différentes échelles qui doit être appréhendée. L'approche par le niveau écosystémique permet de mettre cette dynamique au cœur des réflexions, de raisonner en termes de dynamique des populations. Appréhender ainsi la question des impacts des activités et comportements humains sur la biodiversité est particulièrement pertinent. Ainsi, la forte réduction de l'effectif d'une espèce ou l'introduction d'une espèce nouvelle sont envisagés en raisonnant de façon systémique (exemple : « **si** on modifie l'effectif d'une espèce de l'écosystème **alors** cela aura un impact sur une autre espèce **parce qu'**elle constitue sa nourriture principale »).

La biodiversité actuelle doit être envisagée comme **résultat et étape de l'évolution de la vie**. Il est important que les élèves aient bien conscience que **les mécanismes de l'évolution de la vie sont toujours à l'œuvre aujourd'hui** : mécanismes créant de la diversité (innovations génétiques apparaissant au hasard, …) et mécanismes influant sur le maintien des innovations (sélection naturelle, sélection sexuelle, dérive génétique).

Expliciter la démarche sur laquelle repose une théorie scientifique telle que la théorie de l'évolution constitue également un enjeu éducatif très important, en lien avec la capacité à distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique. Une théorie scientifique est un modèle explicatif construit par la communauté scientifique à partir de faits, régulièrement renforcé et réinterrogé à la lumière de nouveaux éléments, évolutif par nature à la faveur de nouvelles données.

L'enseignement scientifique du tronc commun de terminale (thème 3 « une histoire du vivant ») sera l'occasion de remobiliser toutes les notions abordées dans l'enseignement de SVT dans le domaine de l'évolution de la vie ; il permettra d'envisager l'éclairage apporté par les concepts de variation et de sélection naturelle à certaines pratiques humaines médicales et agricoles.

1. Depuis la publication des 17 objectifs de développement durable (ODD), dont « Une éducation de qualité pour tous », par les Nations Unies en 2015, ces derniers font l'objet d'appropriations nationales sous la forme des « Agendas 2030 ». Les ODD font l'objet d'une dynamique d'appropriation forte et rapide par les collectivités territoriales, le monde de l'entreprise et les associations. Les ODD confèrent une nouvelle dimension à l'éducation au développement durable, et un sens planétaire à la mission propre à l'Éducation nationale https://www.education.gouv.fr/cid114243/les-objectifs-de-developpement-durable.html

Retrouvez éduscol sur

Lors de l'étude de ce thème, l'élève aura notamment l'occasion de travailler la compétence « adopter un comportement éthique et responsable » en :

- identifiant incidence, bénéfices et nuisances, des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles ;
- fondant ses choix de comportement responsable vis-à-vis de l'environnement en prenant en compte des arguments scientifiques ;
- comprenant les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité).

Ce thème contribue également à la formation des élèves pour la compétence « Pratiquer des démarches scientifiques » en :

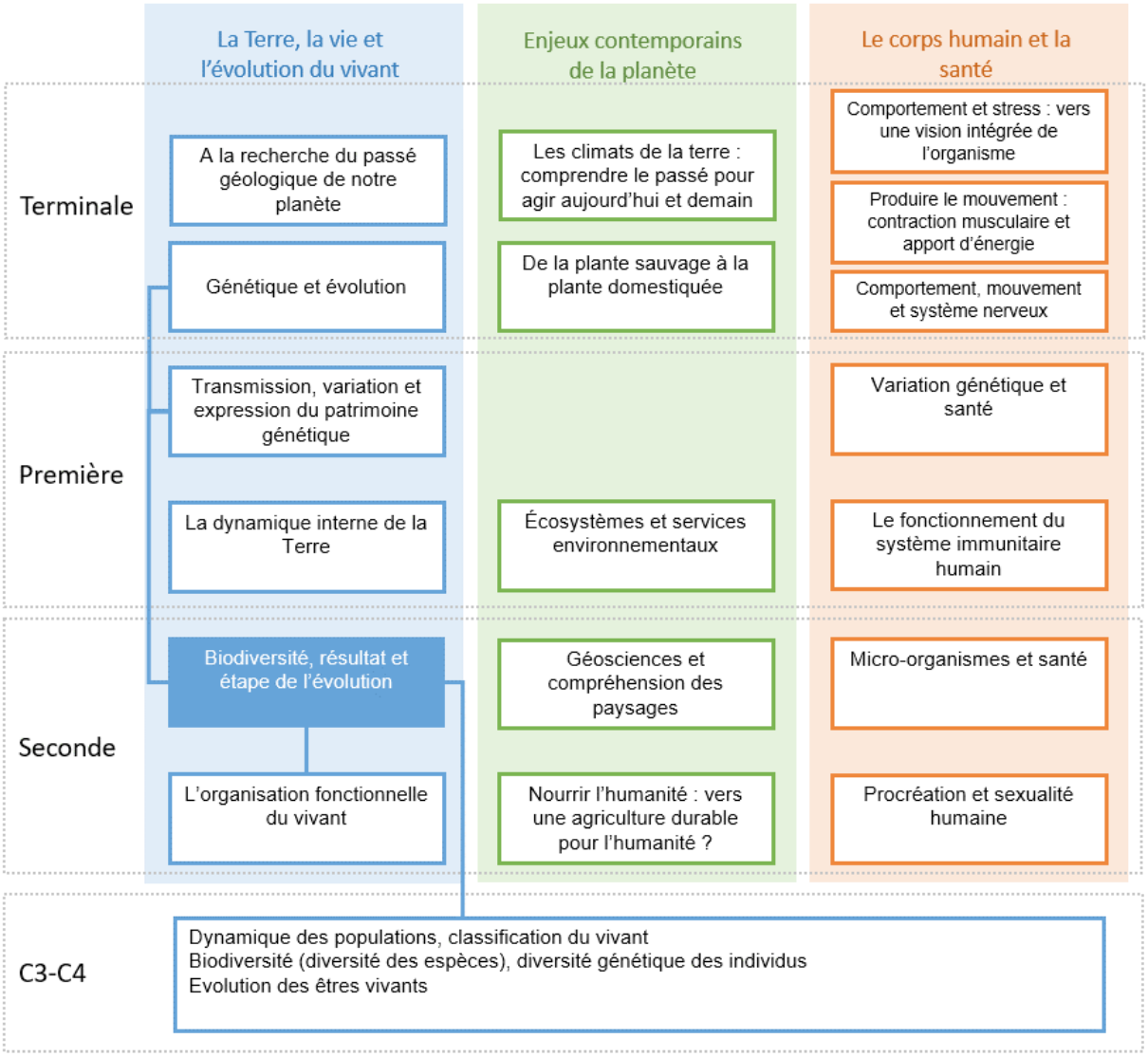
- identifiant ce que sont des opinions, des faits, des théories ;
- comprenant les limites d'un modèle ;
- exerçant son esprit critique.

En outre, les activités menées pour l'étude de ce thème sont l'occasion d'utiliser des outils numériques et de manipuler des modèles numériques. À titre d'exemple, pour l'étude de la dérive génétique, l'utilisation de logiciels tels que Netbiodyn[2] est intéressante pour discuter des limites d'un modèle (numérique). Il permet en effet d'avoir accès à l'algorithme et donc de modifier les paramètres du modèle.

2. Netbiodyn : Télécharger le logiciel (utilisation hors ligne)

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Au collège, les élèves ont découvert la **biodiversité** et **l'organisation du vivant** à différentes échelles (écosystèmes, espèces[3], gènes). La distinction a été faite entre **une clé de détermination** qui a vocation à identifier et nommer des taxons, et une **classification en groupes emboités traduisant des relations de parenté** et réunissant des taxons sur la base du partage de caractères.

Au cours du cycle 4 l'évolution de la biodiversité est construite par l'étude de la **diversification du vivant au cours des temps géologiques** (espèces actuelles/espèces disparues). **Le moteur**

3. Au lycée on continuera de considérer le critère d'interfécondité avec descendance fertile comme un critère définissant l'espèce, sans toutefois être trop dogmatique. En effet, de nombreux hybrides entre espèces différentes sont fertiles. Le concept d'espèce a été créé par l'homme pour organiser le vivant.

de l'évolution est abordé (les mutations génétiques : nommées, mais non étudiées au niveau moléculaire) ainsi que la sélection naturelle (en tant qu'aptitude à survivre et donc à se reproduire).

La **diversité intraspécifique** est abordée en mettant en évidence l'existence des allèles (différentes versions d'un même gène).

L'impact des activités humaines sur la biodiversité a été étudié à travers quelques exemples.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles de temps et d'espace.
- Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer : la nutrition des organismes – la dynamique des populations – la classification du vivant – la biodiversité – la diversité génétique des individus – l'évolution des êtres vivants.

Connaissances et compétences associées

- Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations.
- Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants et l'évolution.
- Relier comme processus dynamiques la diversité génétique et la biodiversité.
- Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

Idées clés pour enseigner

En classe de 2de

Parties du sous-thème	Des notions…
Les échelles de la biodiversité	**Des notions à consolider** [4] • Biodiversité = diversité du vivant et sa dynamique à différentes échelles (intraspécifique, spécifique, écosystémique). • Notion d'espèce : concept créé par l'humain. • Diversité au sein des espèces et des populations. • Diversité des individus et variabilité de l'ADN : diversité génétique. • La biodiversité évolue en permanence aux différents niveaux et aux différentes échelles de temps. • De nombreux facteurs dont l'activité humaine provoquent des modifications de la biodiversité.
	Des notions nouvelles à bâtir • L'évolution de la biodiversité inclut des phénomènes aléatoires. • Spéciation.

4. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Parties du sous-thème	Des notions…
La biodiversité change au cours du temps Des forces évolutives s'exerçant au niveau des populations	**Des notions à consolider** • La biodiversité évolue au cours des temps géologiques. • La sélection naturelle résulte de la pression du milieu et des interactions entre les organismes. • De nombreux facteurs, dont l'activité humaine, provoquent des modifications de la biodiversité.
	Des notions nouvelles à bâtir • Cette évolution est observable sur de courtes échelles de temps et elle est toujours d'actualité de nos jours. • Les crises biologiques (extinctions massives suivies de diversification). • La dérive génétique (modification aléatoire de la fréquence des allèles au sein d'une population au cours des générations successives). • Les populations se séparent en sous-populations au cours du temps à cause de facteurs environnementaux ou génétiques. Cette séparation est à l'origine de la spéciation.
Communication intraspécifique et sélection sexuelle	**Des notions à consolider** • La communication consiste en la transmission d'un message entre un émetteur et un récepteur. • La communication s'inscrit dans le cadre d'une fonction biologique (nutrition, reproduction, défense, etc.). Il existe une grande diversité de modalités de communication (chimique, sonore, visuelle, hormonale).
	Des notions nouvelles à bâtir • La transmission d'un message entre un organisme émetteur et un organisme récepteur peut modifier son comportement en réponse à ce message. • Sélection sexuelle : dans le monde animal la communication interindividuelle et les comportements induits peuvent contribuer à la sélection à travers la reproduction. • La spéciation peut résulter d'un isolement reproducteur entre organismes de la même espèce lié à des modifications de la communication.

Précisions et limites – Articulation avec le cycle terminal et l'enseignement scientifique

Précisions - Limites	
En seconde	• Il ne s'agit pas de viser l'exhaustivité pour l'étude des crises biologiques, l'exemple de la crise Crétacé-Paléocène est suggéré. Les causes et les modalités détaillées de la crise Crétacé-Paléocène ne sont pas à détailler : il ne s'agit pas de faire une investigation exhaustive des indices de celle-ci, mais bien de définir, à travers cet exemple, la notion de crise biologique et de pouvoir utiliser cette crise comme repère de comparaison pour discuter de la baisse actuelle de la biodiversité. • On se gardera également de viser l'exhaustivité lorsqu'il s'agira d'étudier la sélection naturelle (dont la sélection sexuelle) et la dérive génétique.
Notions détaillées en enseignement de spécialité SVT de 1ère	• Nature et fréquence des mutations. Effets des mutations sur les phénotypes. • Un cas pratique de sélection naturelle dans des populations bactériennes.
Notions détaillées en enseignement de spécialité SVT de terminale	• Génétique et évolution : il s'agit de comprendre comment la reproduction sexuée forme des génomes individuels et contribue à la diversification du vivant, aux côtés d'autres processus génétiques et non génétiques. • Évolution des génomes au sein des populations. • La diversification phénotypique des êtres vivants n'est pas due uniquement à la diversification génétique.
Notions détaillées en enseignement scientifique	• Enseignement scientifique en Terminale : - thème 3 – une histoire du vivant (la biodiversité et son évolution) ; - thème 2 – sciences, climat et société (changements climatiques).

Le sous-thème en trois tableaux synthétiques

Les échelles de la biodiversité	
Objectifs et points de vigilance	**L'étude de la biodiversité ne se limite pas à quantifier un nombre d'espèces.** **La biodiversité n'est pas une simple collection d'espèces - les dimensions systémique et dynamique sont essentielles.** **Plusieurs échelles permettent de faire état de la biodiversité.** Les études menées contribuent essentiellement, en seconde, à renforcer les acquis de collège (diversité et organisation du monde vivant). L'occasion : • de permettre aux élèves de mobiliser et de renforcer les acquis de collège ; • d'observer le vivant et de découvrir des méthodes d'échantillonnage ; • d'utiliser clés de détermination, classifications en groupes emboîtés et arbres phylogénétiques ; • de découvrir les sciences participatives ; • de s'intéresser aux expéditions scientifiques contemporaines. Un enseignement à placer dans une perspective d'éducation au développement durable. Remarque : • le principal critère pour définir l'espèce interfécondité et descendance viable et fertile (tout en sachant que la notion d'espèces est un concept créé par l'être humain pour l'aider à organiser le vivant, et que de nombreux hybrides sont en fait fertiles) ; • on ne visera pas l'exhaustivité lors de la présentation de la biodiversité.

La biodiversité change au cours du temps Des forces évolutives s'exerçant au niveau des populations	
Objectifs et points de vigilance	**Une diversité des individus et des populations qui repose sur la variabilité de l'ADN.** **Une diversité du vivant qui constitue tout à la fois le résultat et une étape de l'évolution de la vie.** **Une évolution de la biodiversité au cours du temps qui résulte de forces évolutives s'exerçant au niveau des populations (sélection naturelle, dérive génétique).** **L'étude des crises passées nous permet de discuter de l'existence d'une crise actuelle de la biodiversité.** L'occasion : • de prendre conscience que l'évolution est observable sur de courtes échelles de temps et qu'elle se déroule de nos jours aussi ; • d'utiliser un logiciel de modélisation pour illustrer la sélection naturelle et la dérive génétique ; • d'expliciter la démarche sur laquelle repose une théorie scientifique (théorie de l'évolution) ; • d'envisager les impacts de certaines activités ou de certains comportements humains sur la biodiversité ; • de découvrir la notion de crise et d'aborder scientifiquement la question de l'importance la crise de la biodiversité actuelle. Remarque : l'approche systémique est importante pour appréhender les impacts des activités et comportements humains sur la biodiversité : la connaissance de l'organisation fonctionnelle d'un écosystème permet d'envisager toutes les conséquences d'une perturbation engendrée par une variation importante d'effectif d'une population.

Communication intraspécifique et sélection sexuelle	
Objectifs et points de vigilance	**Chez de nombreuses espèces, la communication est source de sélection des partenaires sexuels et donc de la persistance de certains caractères.** L'occasion : • d'étudier un exemple de communication dans le cadre d'un comportement animal, pour en dégager les grands principes ; • de prendre du recul par rapport à l'idée que l'on se fait habituellement d'une sélection naturelle qui « favoriserait les individus les mieux adaptés à leur milieu de vie » ; • d'appréhender l'idée que le choix d'un partenaire peut être un facteur de sélection et donc constituer une force évolutive.

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

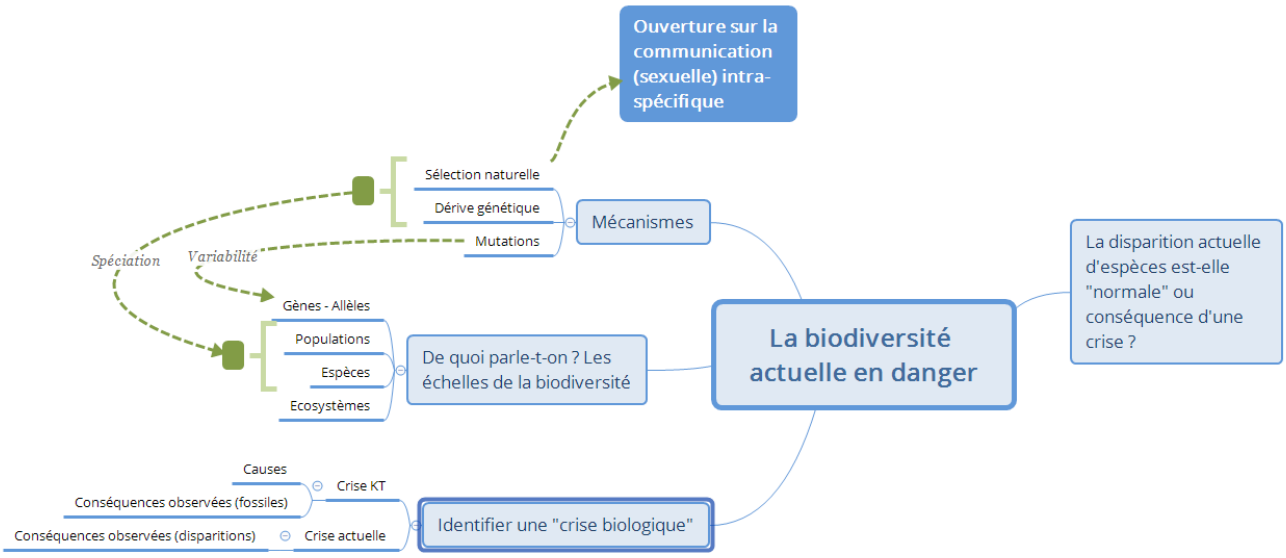
Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

À titre d'exemple[5], la carte heuristique ci-dessous a été conçue en lien avec une des problématiques envisageable pour aborder la question de la biodiversité en classe de seconde : « La disparition actuelle d'espèces est-elle le résultat d'une évolution “normale” ou s'agit-il d'une crise biologique ? »

Pour répondre scientifiquement à cette large question, il s'agira de :

- savoir de quoi il est question quand on évoque la biodiversité (à différentes échelles) ;
- comprendre les mécanismes qui sont à l'origine de cette biodiversité ;
- avoir une référence en terme de crise biologique : l'étude de la crise du Permo-Trias permet d'identifier un rythme de disparition d'espèce anormal. En estimant les taux de disparition actuellement mesurés, on peut alors affirmer que nous sommes bien dans une situation de crise biologique majeure.

5. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.



Cliquer ici pour obtenir l'infographie en taille réelle

Sitographie

Voir aussi les ressources de la fiche consacrée aux écosystèmes.

- Portail national de ressources SVT
- Sites dédiés à la biodiversité
  - IPBES – plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques : communiqué de presse concernant le rapport sur l'état de la biodiversité (2019).
- Agence française pour la biodiversité
- Fondation pour la recherche sur la biodiversité
  - Scénarios pour la biodiversité – AFB 2013.
- UICN - Union Internationale pour la conservation de la nature.
- MNHN - Museum National d'Histoire Naturelle : inventaire du patrimoine naturel.
- IFREMER
- UNESCO - dossier biodiversité.
- IPBES : plate-forme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques.
- Évaluation des écosystèmes pour le millénaire

Pour faire le point sur certaines notions

Notion d'espèce

- Museum National d'Histoire Naturelle
- Planet-Vie – ENS Paris
- Espace Sciences Rennes
- Éducation France TV : « le concept de sélection sexuelle » – Vidéo de Pierre-Henri Gouyon.

Dimension pédagogique

- Plateforme de formation du Museum National d'Histoire Naturelle
- IFÉ – Institut Français pour l'éducation.
- RDST : revue francophone de référence de recherches en didactique des sciences et des technologies - « Repères pour l'enseignement de la biodiversité en classe de sciences » - Yann Lhoste et Carole Voisin – 2013.

Sciences participatives

- MNHN - Sciences participatives
- Vigie Nature
- Nature France – sciences participatives.
- OPEN - observatoire participatif des espèces et la nature.

Expéditions scientifiques -

- TARA Océan

Éducation au développement durable

- Éduscol – les objectifs du développement durable.
- UNESCO - les Objectifs de Développement Durable (ODD)
- UNESCO - les objectifs d'apprentissage des ODD
- Agence Française pour la biodiversité – les aires marines éducatives

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT COMMUN

L'ORGANISATION FONCTIONNELLE DU VIVANT

Thème

Thème 1 - La Terre, la vie et l'organisation du vivant.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Cellule, matrice extracellulaire/paroi, tissu, organe ; organites, spécialisation cellulaire, ADN, double hélice, nucléotides (adénine, thymine, cytosine, guanine), complémentarité, gène, séquence. Métabolisme, autotrophe, hétérotrophe, enzymes.

Enjeux éducatifs

L'étude de l'organisation fonctionnelle des êtres vivants, de la cellule à l'organisme, avec une incursion au niveau moléculaire (structure de l'ADN, certains aspects du métabolisme) est l'occasion de travailler les 6 domaines de compétences évoqués dans les programmes. Pour les élèves, l'utilisation d'un matériel souvent nouveau (Expérimentation assistée par ordinateur, modélisations numériques moléculaires, …) leur permettra de dépasser l'aspect qualitatif et l'observation pour effectuer des mesures quantitatives.

La découverte de nouveaux outils d'investigation du vivant permet à la fois :

- d'étayer les possibles en vue d'élaborer des stratégies de résolution de problème ;
- d'aborder des champs professionnels plus précis en lien avec les métiers de la science.

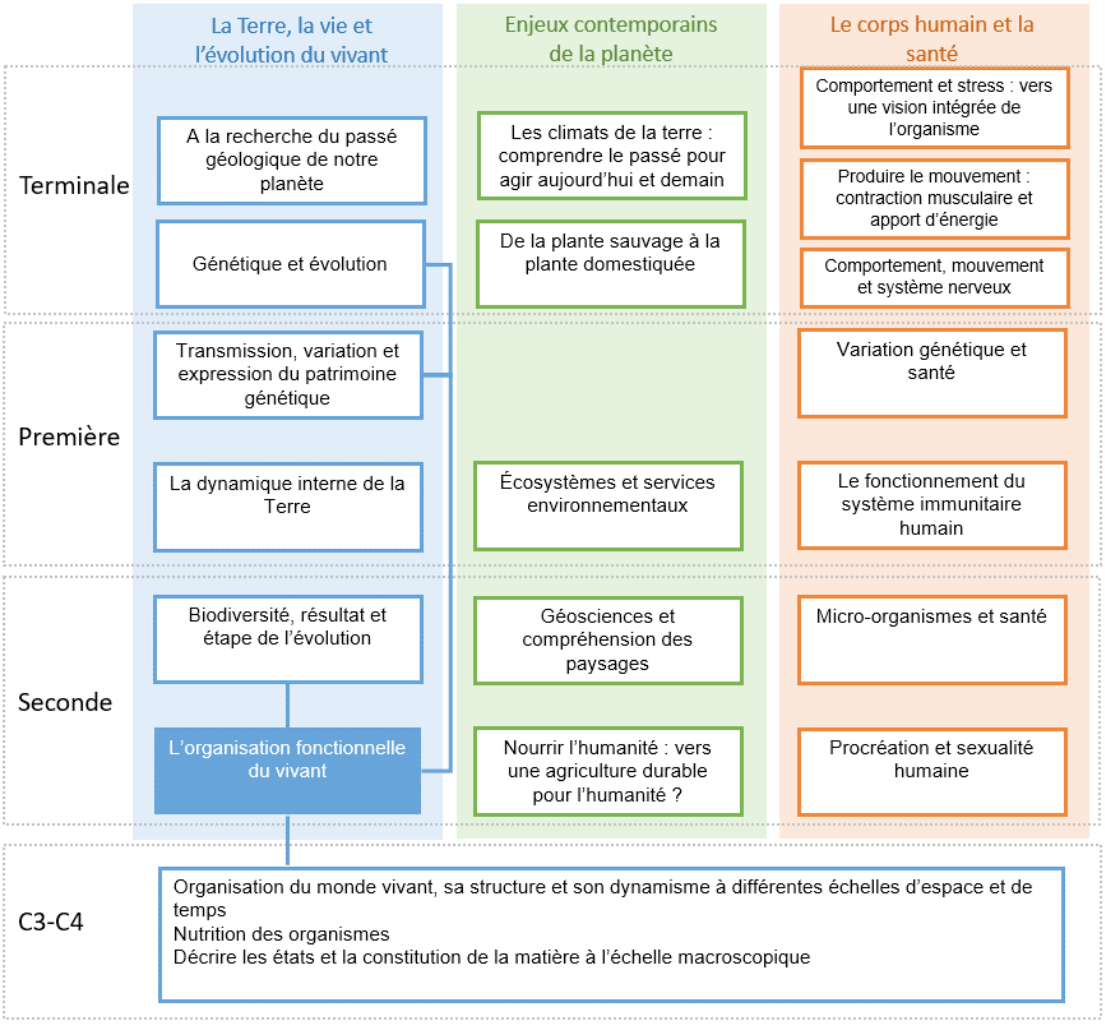
Il est important de rappeler à cette occasion que le recours à un outil, quel qu'il soit (logiciel, base de données, EXAO, …) doit être justifié. Ainsi, **on n'utilise pas un outil pour lui-même, mais parce que ses fonctionnalités permettent de répondre à un besoin dans le cadre d'une démarche scientifique. Cette approche est importante pour la formation scientifique des élèves. Ils doivent d'abord identifier le besoin avant de choisir et d'utiliser l'outil adéquat**. On évitera ainsi d'intituler des séquences par le nom de l'outil (à titre exemple : on n'intitulera pas une séquence « utilisation d'Anagène », mais on l'intitulera en fonction de l'objectif poursuivi).

En outre, dans un souci de formation scientifique des élèves, il sera important de leur permettre parfois de **travailler réellement à la problématisation**, et de ne pas se contenter de les placer en situation de répondre à des problématiques.

Les activités proposées aux élèves dans le cadre de cette thématique étant souvent expérimentales, il est intéressant de profiter de l'occasion pour **former les élèves aux responsabilités individuelles et collectives** (on peut ainsi par exemple les associer à l'élaboration des **règles de sécurité qui devront être strictement respectées**).

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Les élèves découvrent la cellule en tant qu'unité structurelle du vivant (membrane, cytoplasme, noyau). Dans le cadre de l'étude de la matière en sciences et technologie, l'élève distingue matière minérale et matière organique. Dans le cadre de la production de matière par les êtres vivants les élèves ont abordé :

- le fonctionnement d'une plante ou d'un animal en lien avec sa nutrition ;
- les besoins des plantes vertes et leur place particulière dans les réseaux trophiques ;
- les échanges de matière entre un être vivant et son milieu de vie ;
- les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante ;

Retrouvez éduscol sur :

- les besoins des cellules animales et le rôle des systèmes de transport dans l'organisme (nutrition et organisation fonctionnelle à l'échelle de l'organisme, des organes, des tissus et des cellules).

Les élèves savent donc que tous les êtres vivants produisent de la matière à partir de ce qu'ils prélèvent dans leur milieu de vie. Ils connaissent les différences dans ce domaine entre les végétaux chlorophylliens (qui ne prélèvent pas de matière organique dans leur milieu de vie et qui sont donc des producteurs primaires de cette matière organique dans les réseaux trophiques) et les animaux et champignons (qui prélèvent de la matière organique produite par d'autres êtres vivants, et qui sont donc des producteurs secondaires de matière organique). Ils ont donc établi qu'il existait une circulation de matière organique au sein des écosystèmes, et savent pourquoi les végétaux chlorophylliens sont à la base de toute chaîne alimentaire[1] (tout du moins dans les écosystèmes connus des élèves à ce stade).

Les termes d'autotrophie et d'hétérotrophie n'ont pas été posés.

Sans aller jusqu'à sa structure, les élèves ont découvert l'ADN, molécule support de l'information génétique au sein des cellules. Ils ont vu que le phénotype est lié au génotype et comment la division cellulaire permet la conservation, mais aussi la variabilité d'un caryotype (mitose et méiose – termes non exigés).

Mots-clés : chromosomes, gènes, allèles, ADN, mutations, division cellulaire, fécondation.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps.

Expliquer quelques processus biologiques impliqués dans le fonctionnement de l'organisme humain : activités musculaire, nerveuse et cardio-vasculaire, cérébrale, alimentation et digestion, relations avec le monde microbien reproduction et sexualité.

Connaissances et compétences associées

Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement.

Relier comme processus dynamiques la diversité génétique et la biodiversité.

Expliquer le devenir des aliments dans le tube digestif.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

Idées clés pour enseigner

Notions abordées en seconde

En classe de seconde c'est le métabolisme est abordé au niveau cellulaire qui est abordé. Avant d'aborder la construction de notions nouvelles, il est important de mobiliser les acquis des élèves au niveau de l'organisme et des organes ou tissus (échanges avec le milieu – production et utilisation de matière). Dans la même optique, il est important en fin d'étude de resituer les phénomènes observés au niveau cellulaire dans un contexte plus global (organisme, écosystème).

La notion de métabolisme sera précisée.

1. Au collège les élèves n'étudient pas d'autres écosystèmes que ceux qui ont des végétaux chlorophylliens à leur bas

Parties du sous-thème	Des notions…
L'organisme pluricellulaire, un ensemble de cellules spécialisées	**Des notions à consolider**[2] • Chez les organismes unicellulaires, toutes les fonctions sont assurées par une seule cellule. Chez les organismes pluricellulaires, les organes sont constitués de cellules spécialisées formant des tissus, et assurant des fonctions particulières. • Toutes les cellules d'un organisme sont issues d'une cellule unique à l'origine de cet organisme. • L'information génétique est organisée en gènes constitués d'ADN.
	Des notions nouvelles à bâtir • Matrice extracellulaire/paroi-organites. • Les cellules spécialisées n'expriment qu'une partie de leurs gènes *L'étude des modalités de l'expression des gènes relève de l'enseignement de spécialité SVT de la classe de première.* • Structure de l'ADN (double hélice, nucléotides, adénine, thymine, cytosine, guanine, complémentarité, gène, séquence). *L'étude de la structure de l'ADN est à mener en relation directe avec sa fonction (la question qui se pose est de déterminer en quoi les caractéristiques de la molécule d'ADN lui permettent d'être le support d'une information).*
Le métabolisme des cellules	**Des notions à consolider** • Les élèves ont découvert une partie du métabolisme hétérotrophe appliqué au tissu ou à l'organe.
	Des notions nouvelles à bâtir • Le métabolisme cellulaire, autotrophe, hétérotrophe. *La photosynthèse sera abordée en enseignement scientifique de première.* • Le métabolisme dépend de l'équipement spécialisé de chaque cellule (organites, macromolécules dont les enzymes). *La nature et les mécanismes d'intervention des enzymes relèvent de l'enseignement de spécialité SVT de la classe de première.*

Limites et précisions

Les points suivants ne sont pas des objectifs de formation en seconde :

- la structure fine des tissus cellulaires : ceux-ci sont considérés comme des ensembles cohérents de différentes cellules spécialisées (double cohérence de structure – rôle des matrices – et de fonction - spécialisation) ;
- le détail des molécules impliquées dans l'adhérence cellulaire ;
- la structure moléculaire des enzymes ;
- le détail des différentes phases de la mitose : celle-ci est vue comme une séparation des chromatides, nécessaire à la conservation des caryotypes.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

On ne vise pas l'exhaustivité : les élèves travaillent chaque année sur des exemples en nombre limité pour construire et enrichir des concepts tout au long de leur scolarité. Une pratique pédagogique pertinente pour permettre une généralisation des notions travaillées est d'envisager ponctuellement des travaux en atelier : plusieurs groupes d'élèves travaillent à partir d'exemples différents ; une mutualisation est effectuée ensuite.

Un point de vigilance : il est important de ne pas laisser penser aux élèves que « les végétaux produisent seuls leur matière organique », alors que les animaux ont besoin d'en prélever. Ce raccourci de formulation, encore fréquent, peut être source de confusion pour les élèves. Tous les organismes produisent « seuls » leur matière organique, ce qui va changer c'est à partir de quels matériaux ils vont le faire.

Notions abordées en cycle terminal spécialité SVT

	Précisions - Limites
Notions nouvelles en enseignement de spécialité SVT première	**Thème 1** • Le cycle cellulaire, la réplication de l'ADN, la mitose, la méiose. • L'expression du patrimoine génétique (transcription, traduction, …). • La nature, les mécanismes d'intervention des enzymes (catalyse, substrat, produit, spécificité, …). • Certaines variations génétiques résultent d'une sélection naturelle (tolérance au lactose ; résistance à la haute altitude).
Notions nouvelles en enseignement de spécialité SVT terminale	**Thème 1** • L'origine du génotype des individus – stabilité et évolution clonale / brassage des génomes à chaque génération par la reproduction sexuée. • Complexification des génomes (transferts horizontaux et endosymbioses) : origine des mitochondries et des chloroplastes. **Thème 3** • Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie – la cellule musculaire : une cellule spécialisée permettant son propre raccourcissement – origine de l'ATP nécessaire à la contraction de la cellule musculaire – contrôle des flux de glucose, source essentielle d'énergie des cellules musculaires. • Comportement et stress : vers une vision intégrée de l'organisme – voies physiologiques et coordination de ces voies à l'échelle de l'organisme.

Articulation avec l'enseignement scientifique du tronc commun

Enseignement scientifique en classe de première – thème 2 « le soleil, notre source d'énergie » - sous-thème « une conversion biologique de l'énergie solaire : la photosynthèse».

En seconde : le sous-thème en deux tableaux synthétiques

L'organisation pluricellulaire, un ensemble de cellules spécialisées

Objectifs

Un organisme pluricellulaire peut s'observer à différentes échelles
Des observations à différentes échelles (depuis l'œil aux images de microscopie électronique) d'un animal et/ou d'une plante et des résultats d'expériences (électrophorèse en 2 dimensions), permettent de construire les notions suivantes :

- un organisme pluricellulaire est composé d'un ensemble d'organes formés de tissus. Ces tissus regroupent des cellules spécialisées renfermant des organites et réunies entre elles par une matrice extracellulaire ;
- les caractéristiques structurelles et métaboliques des cellules spécialisées reposent sur la palette de molécules spécifiques qu'elles fabriquent.

Toutes les cellules d'un organisme possèdent la même information génétique, mais chacune n'en exprime qu'une partie.
Des modélisations analogiques, numériques et l'étude de résultats d'expériences historiques permettent de construire les notions suivantes :

- l'information génétique est organisée en gènes constitués d'ADN (Acide Désoxyribonucléique) ;
- l'ADN est une longue molécule formée de 2 brins complémentaires enroulés en double hélice (chromosome). Chaque brin est constitué d'une succession de nucléotides (4 types possibles, A, T, G ou C) ;
- un gène représente une partie de la séquence de la molécule d'ADN ;
- un chromosome contient de nombreux gènes ;
- la structure de la molécule d'ADN est la même chez tous les êtres vivants. Seules les séquences de nucléotides varient ;
- toutes les cellules d'un même organisme possèdent les mêmes gènes, mais elles ne possèdent pas les mêmes protéines. Elles n'expriment pas les mêmes gènes au même moment.

Le métabolisme des cellules

Objectifs

Les échanges de matière et d'énergie entre cellules assurés par le métabolisme permettent le bon fonctionnement de l'organisme pluricellulaire.
Des expériences pour identifier les substrats et produits du métabolisme et pour suivre le devenir des produits du métabolisme permettent de construire les notions suivantes :

- les cellules possèdent une ou des voies métaboliques leur permettant de produire de l'énergie (respiration cellulaire/fermentation ?) ;
- cette énergie leur permet de produire leur propre matière organique ;
- les cellules photosynthétiques produisent leur propre matière organique à partir d'eau, de matière minérale et d'énergie lumineuse. On les qualifie d'autotrophes ;
- les cellules ayant besoin d'un apport en matière organique pour produire leur propre matière sont qualifiées d'hétérotrophes ;
- des échanges entre cellules autotrophes et hétérotrophes au sein du même organisme et entre organismes assurent leur bon fonctionnement ;
- les voies métaboliques au sein d'une cellule sont interconnectées par des molécules intermédiaires des métabolismes.

De nombreuses transformations biochimiques assurent le bon fonctionnement des cellules.
Des expériences de suivi de réactions du métabolisme permettent de les caractériser et de construire les notions suivantes :

- l'ensemble des transformations biochimiques se déroulant dans une cellule constitue son métabolisme ;
- une voie métabolique est une succession de réactions biochimiques transformant une molécule en une autre ;
- le métabolisme dépend de l'équipement spécialisé de chaque cellule (organites, macromolécules dont les enzymes).

Retrouvez éduscol sur :

Remarques

La spécialisation des cellules ne s'observe pas uniquement au niveau de leurs structures (matrice extracellulaire, organites particuliers). Elle s'observe aussi dans les fonctions assurées par les cellules. Leur rôle dans l'organe et dans l'organisme s'explique en partie par leur équipement enzymatique (protéines) qui va influencer leur fonctionnement. Ainsi, en fonction des gènes qui s'exprimeront, chaque catégorie de cellules aura un protéome (ensemble des protéines d'une cellule) qui lui sera propre. A l'échelle d'un organe, d'un organisme, on pourra définir des protéomes cellulaires différents. On pourra envisager de comparer des protéomes de cellules différentes d'un même organisme via des résultats d'électrophorèse 2D par exemple pour les mettre en évidence.

Cette partie de programme repose donc en partie sur l'existence du protéome : pour autant l'étude des mécanismes de fabrication des protéines n'interviendra qu'en enseignement de spécialité.

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont envisageables, du moment qu'elles impliquent les élèves tout au long de la séance.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

À titre d'exemple[3], la carte heuristique ci-dessous a été conçue en lien avec une approche possible pour ce thème : « comment des cellules censées avoir les mêmes gènes (car issues de la même cellule œuf) peuvent avoir des structures et des fonctions différentes ? ».

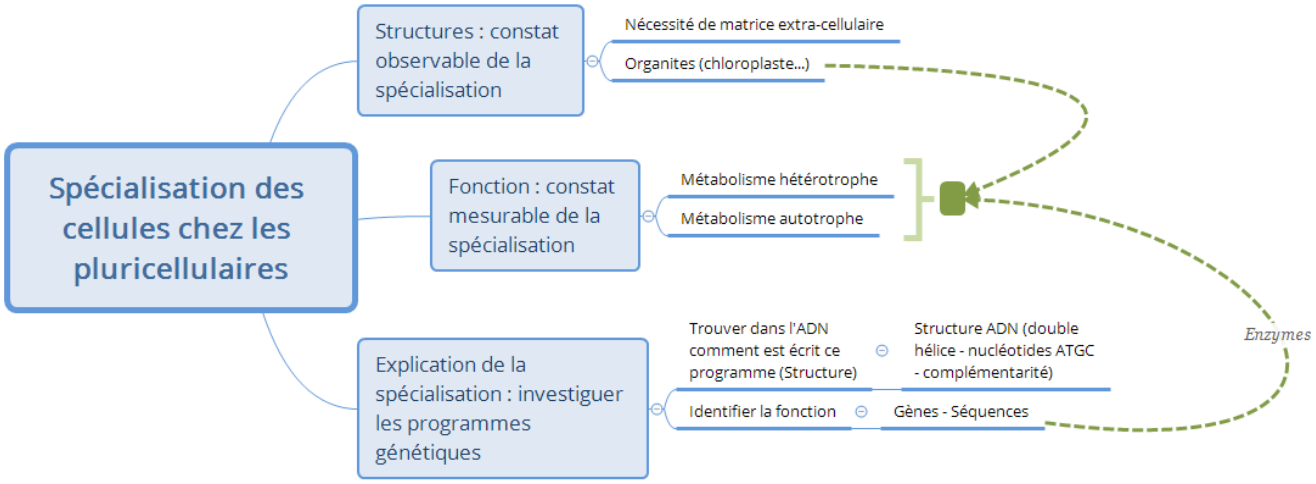
Éléments de contexte : les élèves comprennent que les organismes pluricellulaires sont constitués d'un ensemble de cellules spécialisées. Ces cellules, bien que possédant la même information génétique, se différencient par des caractéristiques structurelles et des activités métaboliques différentes. Alors que chez les organismes unicellulaires, toutes les fonctions sont assurées par une seule cellule, chez les organismes pluricellulaires, des échanges de matière et d'énergie entre cellules spécialisées assurent le bon fonctionnement de l'organisme en relation avec les autres êtres vivants et son milieu. La spécialisation des structures et la diversité des métabolismes auront été observées et des données quantitatives auront pu être obtenues au préalable.

Deux types d'hypothèses sont à envisager :

- les cellules possèdent la même information génétique, mais les cellules n'expriment pas la totalité de cette information – conséquence vérifiable : il doit y avoir le même ADN dans chaque cellule ;
- les programmes génétiques ne sont en fait pas identiques – conséquence vérifiable : les ADN sont différents selon les cellules.

3. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits

Pour tester ces hypothèses, il faut nécessairement caractériser la séquence de l'ADN afin de rechercher d'éventuelles différences entre deux cellules spécialisées d'un même organisme.



Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

Sitographie

- Éduscol - Portail national de ressources SVT
- Planet Vie - ENS Paris
- Éduscol - Risques et sécurité en SVT
- UPMC - RNBio - Ressources numériques en biologie - Compléments d'informations sur la photosynthèse avec des techniques de mesures
- IFÉ – ENS Lyon - Plateforme Acces
- Une très belle animation sur la vie cellulaire « The inner cell of life » - également sur biovisions
- Sorbonne université Faculté des sciences et ingénierie campus Jussieu, Université de Jussieu - Compréhension et observation de différents tissus chez les angiospermes
- Université de Namur (Belgique) - Compréhension et observation de différents tissus animaux
- Planet Vie – ENS Paris - Coloration de cellulose et de lignine
- Université d'Angers - le principe de l'électrophorèse

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT COMMUN

Nourrir l'humanité : vers une agriculture durable pour l'humanité ?

Thème

Thème 2 : Enjeux contemporains de la planète.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Système ; agrosystème ; intrants (dont engrais et produits phytosanitaires) ; exportation ; biomasse; production ; rendement écologique.
Notion de biomasse ; réseaux trophiques ; décomposeurs ; cycle de matière.

Enjeux éducatifs

L'enjeu essentiel de la formation des élèves dans ce domaine sont de former des citoyens conscients de leur responsabilité individuelle et collective. Il ne s'agit pas de leur imposer des choix, mais de les rendre aptes à adopter des comportements informés et raisonnés.

Ce thème s'inscrit dans la continuité de l'étude des écosystèmes commencée au collège dans une perspective d'identification des principaux impacts de l'action humaine et pour envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources de la planète.

A l'heure où la population mondiale ne cesse de croître et les surfaces agricoles de diminuer (urbanisation, désertification, …), ce qui se traduit par une surexploitation des sols, la question de la durabilité se pose. Ce thème contribue notamment à l'éducation au développement durable[1], une éducation transversale en lien avec l'éducation à la citoyenneté.

Le rapport Bruntland (1987) proposait déjà cette définition : « Le développement durable est un développement qui s'efforce de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.».

1. Eduscol – éducation au développement durable

Retrouvez éduscol sur :

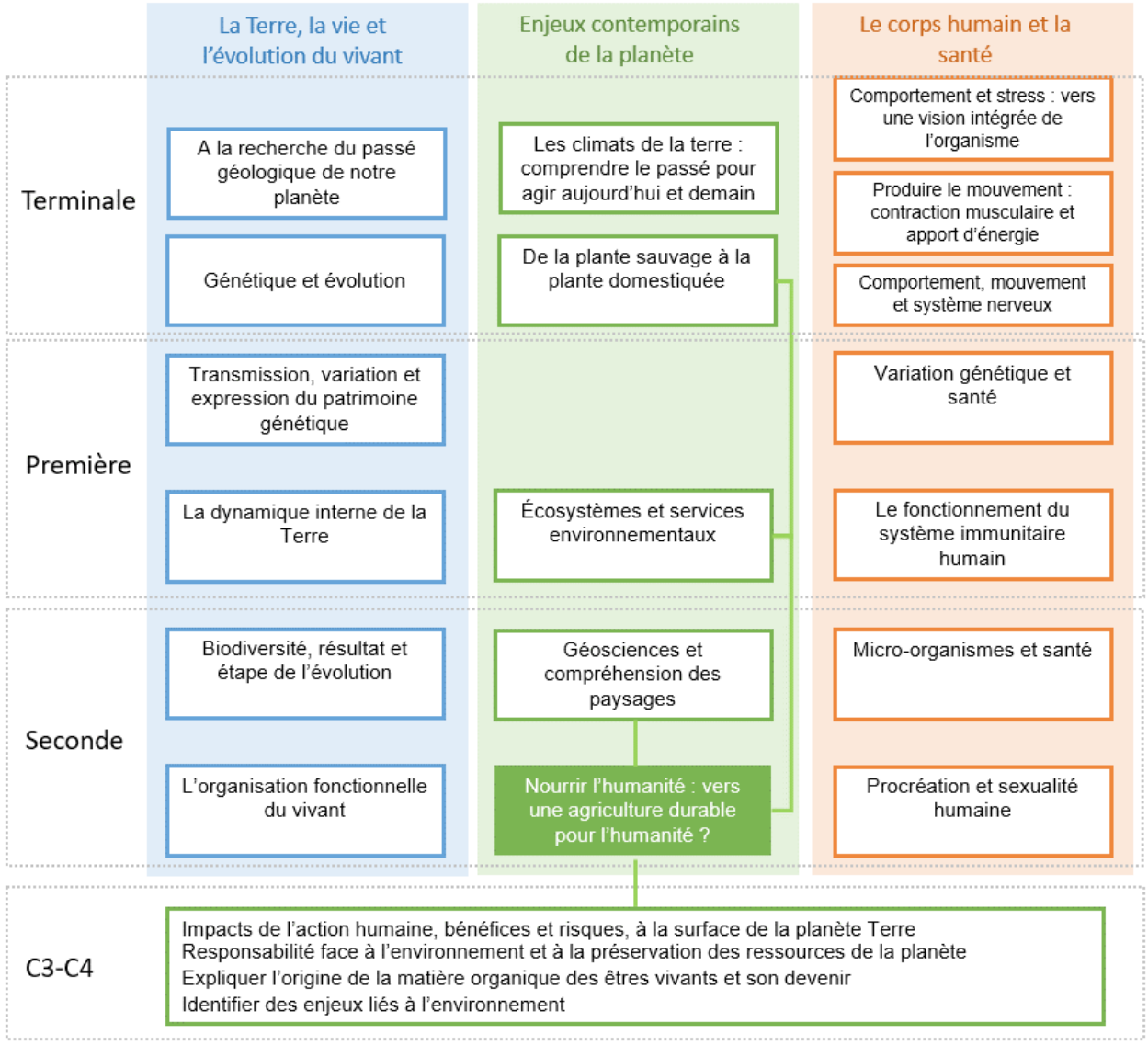
Il s'agira donc de mesurer l'importance de l'acquisition des connaissances et de la mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques pour optimiser la production agricole en minimisant les nuisances à l'environnement.

L'objectif n'est pas de stigmatiser tel ou tel mode de production, mais, par les mesures, les observations de terrain dans l'espace et dans le temps, de dégager des données objectives visant la responsabilisation de chacun. L'éducation au développement durable n'a de sens que si cela permet aux élèves de faire des choix et d'agir de manière lucide et responsable, tant individuellement que collectivement. Cela ne peut se faire sans mener des raisonnements intégrant les questions complexes.

Ces études peuvent être également l'occasion pour les élèves d'enrichir leur parcours en découvrant les métiers et les voies de formation en lien avec la gestion de l'environnement et les systèmes de production (agronomie, …).

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Retrouvez éduscol

Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Au cours du cycle 3 les élèves ont abordé plusieurs champs notionnels en lien avec cette sous-thématique. Les besoins alimentaires des animaux, les besoins nutritifs des plantes vertes (besoin de matière minérale et de lumière pour produire de la matière organique) ont été traités. Les notions de décomposeurs du sol et le recyclage de la matière ont été également abordés (attendu de fin de cycle : **Expliquer l'origine de la matière organique des êtres vivants et son devenir**). Quelques enjeux liés à l'environnement ont été identifiés.

Au cours du cycle 4, au travers la thématique « La planète Terre, l'environnement et l'action humaine», les élèves abordent de manière non exhaustive l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques, …) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes. Ils comprennent que ces actions ont un impact environnemental (exemples : pollution des eaux, raréfaction des ressources en eau dans certaines régions, érosion des sols, déforestation, disparitions d'espèces animales et végétales, …) et que l'être humain modifie l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes. Des solutions de restauration et de préservation sont également abordées de manière non exhaustive.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT) :

- Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps.
- Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre.
- Envisager et justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

Connaissances et compétences associées :

- Relier comme des processus dynamiques la diversité génétique et la biodiversité.
- Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain en lien avec quelques grandes questions de société.
- Comprendre et expliquer les choix en matière de gestion des ressources naturelles à différentes échelles.
- Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales.
- Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/ nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

Idées clés pour enseigner

En classe de seconde

Parties du sous-thème	Des notions…
Structure et fonctionnement des agrosystèmes	**Des notions à consolider** [2] Les agrosystèmes sont gérés afin de produire la matière (biomasse) nécessaire à l'humanité pour son alimentation.
	Des notions nouvelles à bâtir Les caractéristiques des systèmes agricoles varient selon le modèle de culture (agriculture vivrière, extensive ou intensive, …). Dans plusieurs modèles agricoles, l'exportation d'une grande partie de la biomasse produite réclame l'apport d'intrants pour fertiliser les sols.
Caractéristique des sols et production de biomasse	**Des notions à consolider** En consommant localement la matière organique morte, les êtres vivants du sol recyclent cette matière en éléments minéraux, assurant la fertilité des sols.
	Des notions nouvelles à bâtir En dehors des agents érosifs, la nature et la composition des sols résultent aussi de l'interaction entre les roches et la biosphère, par le biais de plantes, d'animaux et de microbes. La biosphère prélève dans les sols des éléments minéraux participant à la production de biomasse.
Vers une gestion durable des agrosystèmes	**Des notions à consolider** L'un des enjeux environnementaux majeurs est la limitation de l'impact des êtres humains.
	Des notions nouvelles à bâtir Les agrosystèmes ont une incidence sur la qualité des sols et l'état général de l'environnement. La recherche actuelle apporte connaissances, technologies et pratiques pour le développement d'une agriculture durable permettant tout à la fois de couvrir les besoins de l'humanité et de limiter ou de compenser les impacts environnementaux.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés

Notions abordées en cycle terminal spécialité SVT

Précisions - limites	
En seconde	Concernant l'exhaustivité[3] des exemples. • Privilégier la comparaison de deux écosystèmes (dont un agrosystème) : l'étude de tous les types d'agrosystèmes ainsi que des écosystèmes naturels n'est pas attendue. • Privilégier un exemple local pour étudier les sols ainsi que les impacts environnementaux d'un agrosystème.
Notions détaillées en enseignement de spécialité	• La diversité fonctionnelle d'un écosystème est reliée à la diversité spécifique/ génétique, garante d'une diversité fonctionnelle. • La dynamique spatio-temporelle avec des perturbations (incendies, maladies) affectant les populations : résilience des écosystèmes. • L'ingénierie écologique pour manipuler, modifier, exploiter ou réparer les écosystèmes. • Approfondissement des services écosystémiques.

Le sous-thème en trois tableaux synthétiques

Structure et fonctionnement des agrosystèmes	
Objectifs	**Ce qu'est un agrosystème (terrestre ou aquatique).** • Un **système écologique** exploité à des fins de **production de biomasse** (Production alimentaire, Agrocarburants, textiles, …). • Un système déséquilibré (Biomasse exportée). • Un système écologique en interaction avec un le **système socio-économique**.
	L'existence de différents modèles d'agrosystèmes (intensifs, extensifs, vivriers). • Dont les stratégies et les rendements reposent sur l'utilisation +/- importante d'intrants et la volonté de maximiser ou non les productions. • Qui dépendent des choix de l'exploitant et des contraintes du milieu, et que ces choix tendent à définir un terroir.
Objectifs	**La nécessité de fournir des intrants afin d'optimiser les productions quels que soient les modèles d'agrosystèmes.** • Intrants permettant d'augmenter les rendements. • Intrants permettant de protéger les rendements (face aux ravageurs, pathogènes, compétiteurs, ...). • L'utilisation des intrants a des conséquences qualitatives sur l'environnement et la santé.

3. D'une manière générale, éviter l'exhaustivité : les élèves travaillent chaque année sur des exemples en nombre limité pour construire et enrichir des concepts tout au long de leur scolarité. Une pratique pédagogique permettant de contourner l'exhaustivité est d'envisager ponctuellement des travaux en atelier : plusieurs groupes d'élèves effectuent des recherches à partir d'exemples différents ; une mutualisation est effectuée ensuite.

Caractéristique des sols et production de biomasse	
Objectifs	**Les fonctions du sol (interface entre la biosphère et la géosphère) à toute production de biomasse).** • Assurer la nutrition hydrominérale des organismes autotrophes à la base des **réseaux trophiques** et des **systèmes de production**. • Les ressources minérales du sol doivent **être compensées**, car exportées du système.
	Les processus biogéochimiques permettant la formation des sols (ressource non renouvelable l'échelle humaine). • Processus biogéochimiques d'altération de la roche mère. • Rôle de la biosphère du sol (faune, flore) dans le recyclage et la minéralisation de la matière organique (réseaux trophiques). • Relation entre la roche du sous-sol et la qualité des sols. • Temps de formation d'un sol.
	Les techniques permettant de limiter et compenser les impacts de l'exploitation des sols. • Utiliser la biodiversité pour améliorer la qualité des sols (Ressources hydrominérales, Structure, Porosité, perméabilité). • Rôle des lombriciens dans la structuration des sols. • Rôle du CAH dans la structure et la qualité des sols.

Vers une gestion durable des agrosystèmes	
Objectifs	**Les impacts environnementaux des agrosystèmes.** La diversité d'incidences sur la qualité des sols et l'état général de l'environnement proche de façon plus ou moins importante selon les modèles agricoles. • Perte de biodiversité • Érosion des sols • Pollutions des sols et des eaux, … Ces impacts qui diffèrent selon les modèles d'agrosystèmes (intensifs, extensifs, Vivriers, conventionnel intensif, biologique intensif, …).
	La diversité des techniques issues de la recherche agronomique pour limiter ces impacts, pour une agriculture durable. • Les mécanismes de production des connaissances scientifiques et les difficultés auxquelles elle est confrontée (complexité des systèmes, conflits d'intérêts, …). • Ces techniques s'appuient sur la connaissance des processus biologiques et écologiques. • Ces techniques sont porteuses de solutions, mais peuvent présenter des impacts.

Points de vigilance

Il ne s'agit pas de réaliser une étude exhaustive des agrosystèmes, mais bien de permettre aux élèves de mobiliser et de renforcer les acquis sur les écosystèmes et leur fonctionnement pour qu'ils puissent comprendre les spécificités fonctionnelles des agrosystèmes et envisager les impacts des pratiques, en lien avec les fonctions de cet écosystème particulier.

Dans une optique d'éducation transversale, des liens seront établis avec d'autres enseignements (géographie, économie, physique-chimie, ...).

Quelques pistes pour problématiser

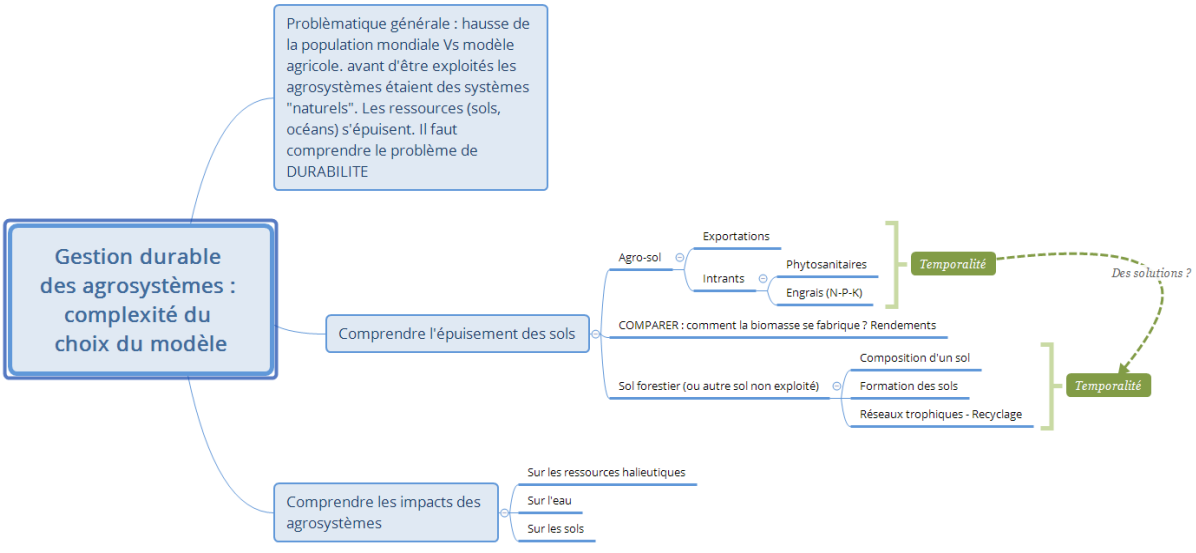
Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, … Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

À titre d'exemple[4], la carte heuristique ci-dessous a été conçue en lien avec une des problématiques envisageable : « comment nourrir l'humanité en minimisant les impacts sur l'environnement tout en optimisant la production ? ».

Ainsi la partie « vers une gestion durable des agrosystèmes » peut tout à fait être une situation de départ à problématiser pour engager une démarche de projet, une démarche scientifique de recherche de données nécessitant de convoquer les précédentes parties. Ce sous-thème peut alors être envisagé non plus comme une partie enseignée pour elle-même, mais comme un fil rouge avec un objectif plus explicitement affiché d'éducation au développement durable.

Pour répondre scientifiquement à cette large question, il est important de :
- comprendre comment se forme un sol ;
- mesurer la biomasse produite et les facteurs biotique/abiotiques impliqués dans cette production ;
- comprendre le principe de durabilité qui repose sur des vitesses d'exportation en équilibre avec la régénération « naturelle ».



Cliquer ici pour obtenir la carte mentale en taille réelle

4. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.

Le point sur les agrosystèmes

Un écosystème est un espace biophysique structuré caractérisé par l'ensemble des identités biologiques (biocénose) et des identités physiques (biotopes), leurs états[5] et les relations existant (processus biophysiques[6]) entre ces entités.

Un agrosystème : un écosystème anthropisé

Un agrosystème désigne un écosystème exploité par l'être humain à des fins de productions de nourriture, de fibres, d'énergie ou tout autre produit agricole. La fonction d'un agrosystème est de produire de la biomasse dont la plus grande partie est généralement exportée.

Dans ce cadre, ce système écologique inclut tous les composants : biocénose et biotope (facteurs édaphiques, topographiques, climatiques). Le fonctionnement d'un agrosystème est déterminé par l'interaction entre un système écologique (ou biophysique) et un système socio-économique (ou social).

L'écosystème agricole présente plusieurs caractéristiques qui le distinguent d'un écosystème naturel :

- il est modifié par l'homme avec une finalité principale : la production agricole au travers de pratiques agricoles ;
- les pratiques agricoles modifient la structure de l'écosystème (les entités biologiques présentes et les facteurs abiotiques), mais aussi l'état de ces entités (état hydrique du sol, ressources minérales du sol, nitrates, phosphates, …). Elles ont donc un impact sur les services rendus par les agrosystèmes : les services écosystémiques ;
- l'équilibre entre les espèces cultivées ou domestiques et les espèces spontanées (sauvages) dépend du niveau d'intervention de l'être humain et notamment de la nature et de la quantité des intrants utilisés. Ainsi la production de la biomasse se fait principalement au bénéfice de l'Humain (Habert et al, 2007).

Deux types de biodiversité sont en interaction au sein d'un écosystème agricole : la biodiversité dite cultivée ou domestiques (espèces animales ou végétales implantées) et la biodiversité dite associée, celle des communautés animales ou végétales sauvages. Cette biodiversité associée dépend non seulement des pratiques agricoles mises en œuvre au sein de l'écosystème agricole, mais aussi des écosystèmes naturels et semi-naturels (forêts, zones humides, villes, …) adjacents ou non.

5. L'état d'un écosystème correspond à sa structure et l'état de ses entités (nombre, masse, densité, …).
6. Les processus de l'écosystème correspondant à des actions ou réactions biophysiques organisées dans le temps, qui déterminent les flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes.

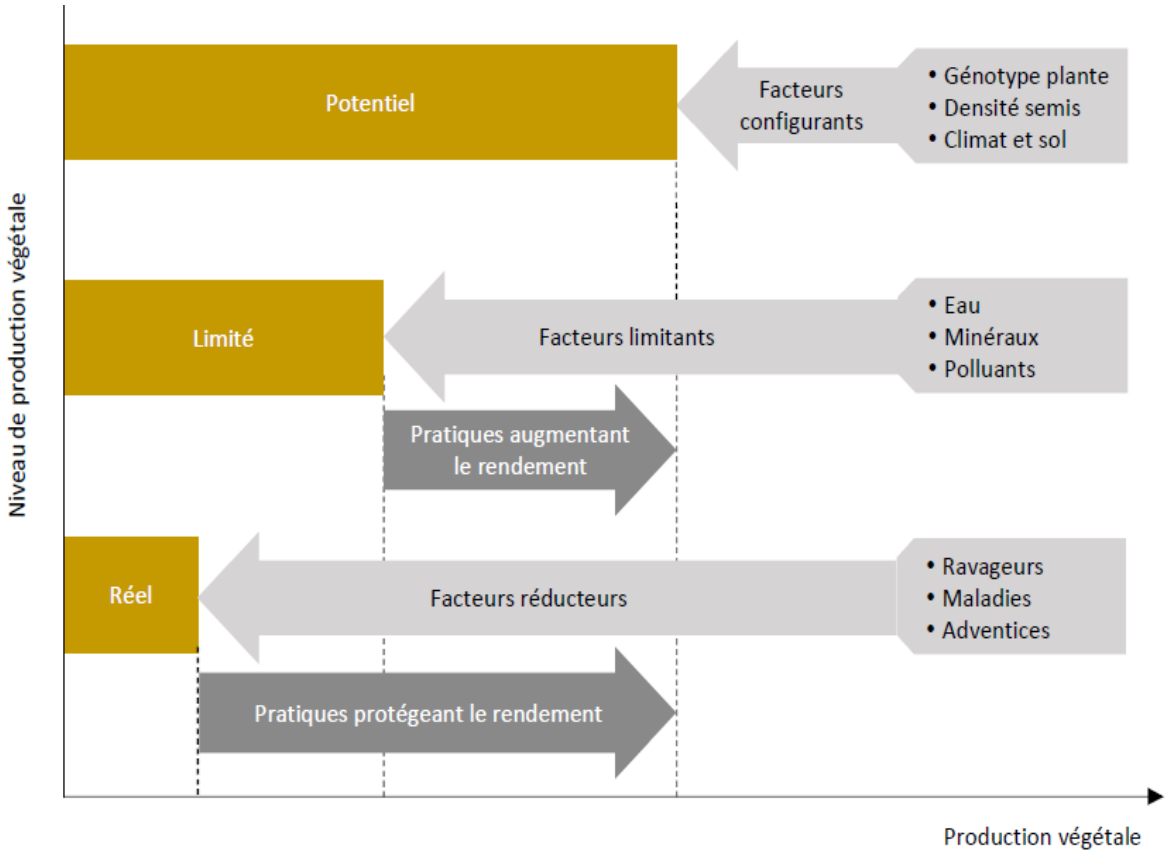
Différents modèles d'agroécosystèmes

- **L'agriculture extensive** est un mode d'élevage ou de production économe en intrants qui ne recherche pas une forte productivité individuelle par animal ou par unité de surface. Ce mode s'applique aux systèmes d'élevage à faibles chargements et priorisant l'herbe pâturée issue de ressources naturelles (dictionnaire agroécologie).
- **L'agriculture vivrière** est une **agriculture** essentiellement tournée vers l'auto-consommation et l'économie de subsistance. La production n'est destinée ni à l'industrie agroalimentaire ni à l'exportation. Elle est en grande partie auto-consommée par les paysans et la population locale.
- **L'agriculture intensive** est un système de production agricole caractérisé par l'usage important d'intrants, et cherchant à maximiser la production par rapport aux facteurs de production, qu'il s'agisse de la main d'œuvre, du sol ou des autres moyens de production (matériel, intrants divers). Elle est parfois également appelée agriculture productiviste. Elle repose sur l'usage optimum d'engrais chimiques, de traitements herbicides, de fongicides, d'insecticides, de régulateurs de croissance, de pesticides, ... Ce mode de production fragilise (voire met en péril) l'environnement. De nombreux problèmes liés à l'utilisation massive des engrais commencent à voir le jour : pollution des eaux et des sols. Dans le monde les rendements sont différents en fonction des pratiques agricoles, des cultures du climat, … (dictionnaire environnement).
- **L'agriculture intégrée** est une agriculture visant à minimiser le recours aux intrants extérieurs à l'exploitation agricole par la mise en œuvre d'une diversité d'ateliers de production, de rotations longues et diversifiées, de restitutions des résidus de cultures ou des déjections animales au sol. Elle favorise le recyclage des éléments minéraux et la qualité des sols et réduit les problèmes liés aux ravageurs et aux maladies.
- **L'agriculture écologiquement intensive (AEI)** est un mode de production agricole basé sur l'utilisation durable des services écosystémiques. On entend par « intensive », à la fois la volonté d'obtenir une productivité élevée (animale ou végétale) et celle d'amplifier les fonctionnalités naturelles des écosystèmes.

Les types et fonctions de pratiques agricoles et leurs fonctions

Il est possible de distinguer **3 types de pratiques agricoles** permettant d'optimiser la production de biomasse d'intérêt économique :

- déterminer le potentiel de production par le choix des génotypes des espèces animales ou végétales domestiques adaptées ou non au sol, au climat, par la détermination de leur densité, …. ;
- agir sur les facteurs limitants la production de biomasse dans l'élevage ou la culture (apport d'eau, d'intrants minéraux, d'aliments, …) ;
- lutter contre les maladies, les parasites, le stress (facteurs réducteurs de biomasse).



Comme les autres écosystèmes, les agrosystèmes fournissent des services écosystémiques

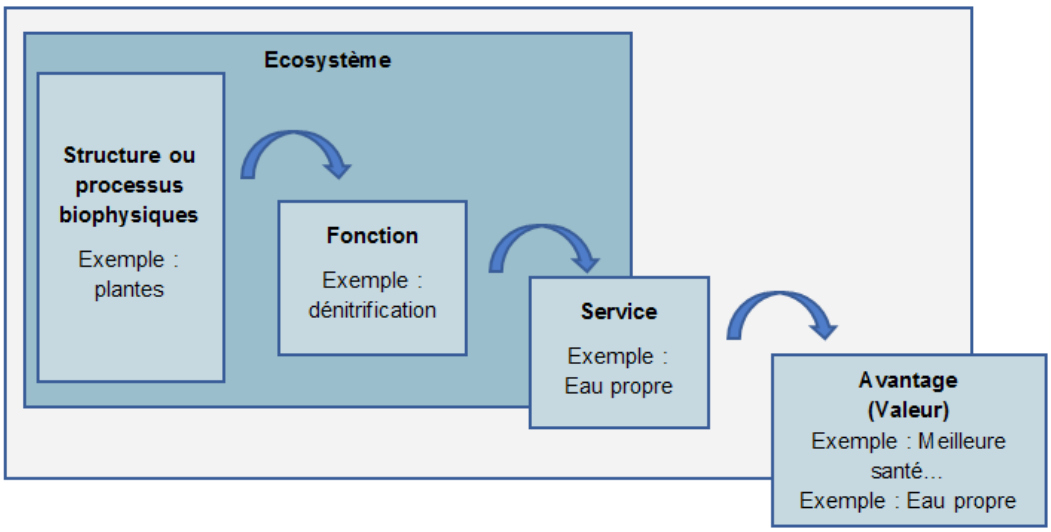
Le concept de service écosystémiques émerge à partir des années 1970. Il s'inscrit dans une approche considérant les écosystèmes comme « des supports de vie » constitués de cycles de matières, produisant des ressources renouvelables et des services indispensables à toute forme de vie sur Terre (Ehrlich et Mooney 1983, Folke, 1991, De Groot, 1992).

Il est possible ainsi de définir **la notion de service écosystémique (SE)** comme l'ensemble des bénéfices que l'humanité tire ou pourrait tirer du fonctionnement des écosystèmes (De Grott et al, 1992). Ce concept est très anthropocentré.

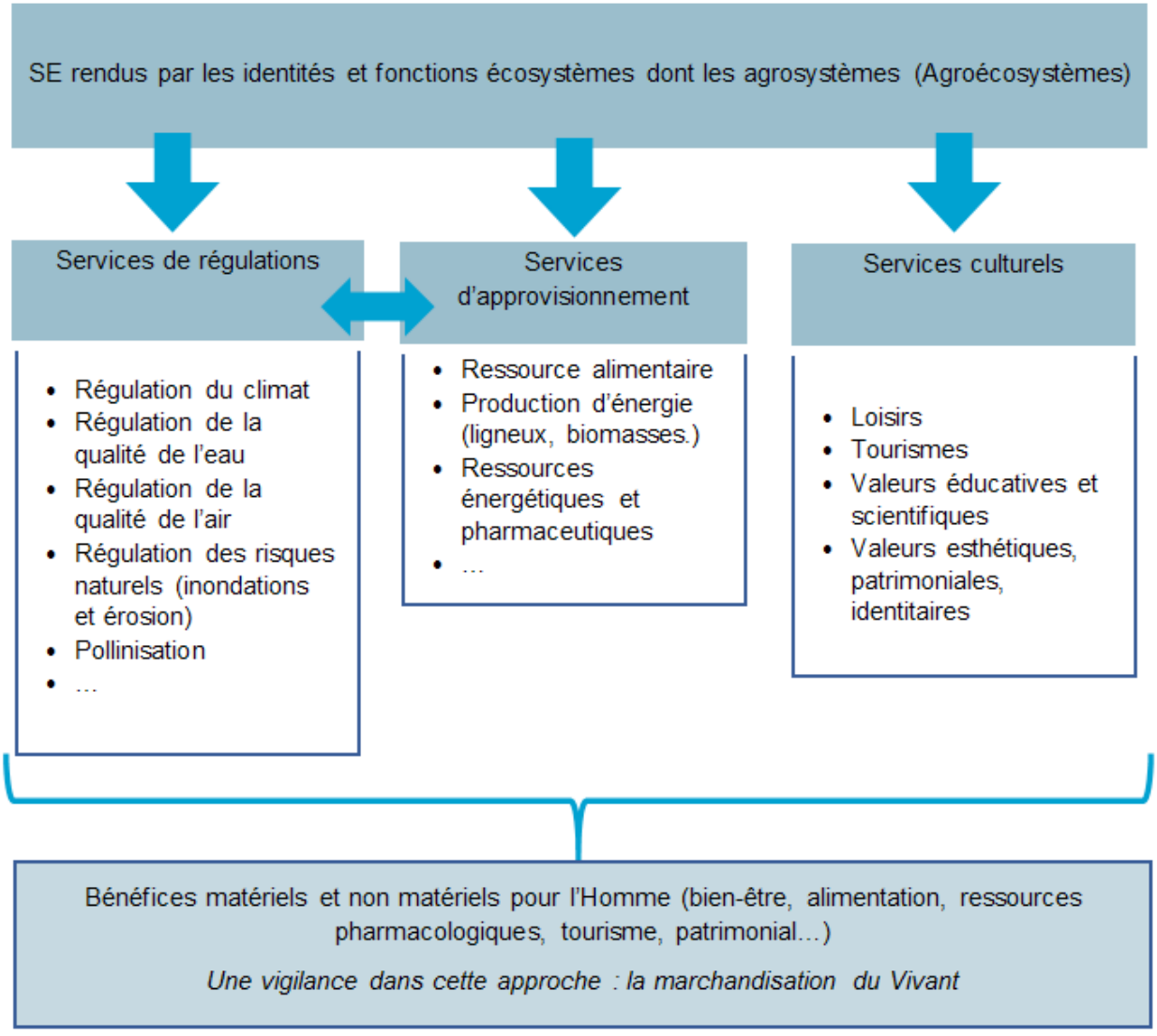
Une telle approche des écosystèmes permet d'influencer les politiques publiques notamment en attirant l'attention sur l'importance de préserver la capacité des écosystèmes à fournir ces services indispensables au maintien du bien-être économique et social.

Retrouvez éduscol sur :

Relations entre l'écosystème et le bien-être humain.



Catégorisation des types de services écosystémiques rendus par les écosystèmes



Retrouvez éduscol

Sources : INRA et UICN

Sitographie – Bibliographie

Ressources scientifiques

- Site du ministère de l'Agriculture et de la pêche :
  - s'informer sur les politiques nationales et européennes en matière de gestion des agrosystèmes.
  - s'informer sur les métiers et voies de formation.
- CIRAD : Organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes.
- UICN : Union internationale de la biodiversité ; Des informations sur les services écologiques rendus par les agroécosystèmes.
- EDE : l'Explorateur de Données Environnementales est la source de référence pour les données utilisées par le Programme National des Nations Unies pour l'Environnement (PNUe) et ses partenaires.
- FAOSTAT fournit un accès libre aux données concernant l'alimentation et l'agriculture pour plus de 245 pays depuis 1961 jusqu'à l'année la plus récente.
- Ministère de l'Écologie et du Développement durable : outil de visualisation cartographique dans la partie cartographie du site « Observation et statistiques ».
- L'histoire de l'agriculture et de son ministère.
- Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : transformer l'agriculture pour atteindre les objectifs du développement durable : Rapport.
- CNRS : ressources scientifiques organisées par thématiques.
- Canal-U.TV : pesticides et santé / états des lieux. Données du rapport INSERM, évaluation du CIRC : connaissances actuelles et recherches en cours en région.
- INSERM : pesticides et santé / bilan de la littérature scientifique permettant de connaître les risques sanitaires associés à l'exposition aux pesticides réalisé par l'INSERM à la demande La Direction Générale de la Santé.
- **Hors-série la recherche** (N°29 – Mars 6 Avril 2019.). « *Ces molécules qui nous empoisonnent, Les solutions des scientifiques* ».
- SOLTNER D « **Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration, Tome 1** ». (Collectif Sciences et techniques agricoles.).
- SIMONNEAUX L, SIMONNEAUX J. (2014, Octobre). ***Panorama de recherche autour de l'enseignement-apprentissage des Questions Socialement Vives liées à l'environnement et l'Agronomie***. (ENFEA, Éd.) Revue périodique du développement durable.

Ressources pédagogiques

Démarches pour enseigner les questions socialement vives

- AFPSVT : conférence en ligne du colloque organisé par l'AFP SVT (2017, Novembre 6). « Se former » et « former à » une démarche d'enquête dans le cadre d'une question scientifique socialement vive : « Nourrir l'humanité ». Récupéré sur :
- Cahier pédagogique : l'actualité scientifique s'invite en classe.

Former l'esprit critique des élèves. Contribuer à la formation de l'esprit scientifique et de l'esprit critique des élèves par l'enseignement des questions socialement vives

- Éduscol : « *Former l'esprit critique des élèves* ».
- Éduscol : « *À l'école de l'Esprit critique* ».

Éducation au développement durable

- Éduscol : l'éducation au développement durable.
- UNESCO : les Objectifs de Développement Durable (ODD).
- UNESCO : les Objectifs d'apprentissage des ODD.

Éducation à la santé

- Éduscol : promotion de la santé à l'école.
- Éduscol : portail de l'éducation à l'alimentation et au goût.

Divers

- Éduterre-ENS-Lyon : une activité à destination des lycéens, qui permet d'appréhender à partir d'un exemple précis la structure d'un agrosystème terrestre, et l'importance du sol dans la production de biomasse et de la gestion durable des agrosystèmes.
- Éduterre-ENS-Lyon : des ressources pédagogiques pour enseigner l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau et la santé.
- Académie de Toulouse : Un outil pour utiliser un modèle et des données – Biodiversité et productivité primaire d'un agrosystème (protocole expérimental de Cedar Creek – Université du Minnesota).
- ENS-Lyon : des activités réalisables en classe pour comprendre le rôle de la biodiversité dans la minéralisation du sol et la résistance à l'érosion.
- Académie de Versailles : animation Flash interactive permettant de simuler les rendements, la productivité et le lessivage d'une parcelle de blé en fonction des apports en N, P, K, herbicides, fongicides, insecticides et eau dans différentes conditions environnementales.
- EDD Académie de Versailles : « Lycée à la ferme ». Une ressource pédagogique pour organiser des activités de terrain avec des élèves de lycée au cours d'une sortie dans une exploitation agricole.

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

GÉOSCIENCES ET COMPRÉHENSION DES PAYSAGES

Thème

Thème 2 : Enjeux contemporains de la planète.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Érosion, altération, modes de transports,
Sédiments, roche détritique, milieu de sédimentation.

Enjeux éducatifs

Ce thème s'inscrit dans la continuité de l'étude des principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre, amorcée aux cycles 3 et 4. Avec une optique résolument ancrée dans **l'éducation au développement durable**, les élèves ont à envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète. En effet, si les médias abordent plus souvent des problématiques alimentaires en lien avec l'accroissement de la population mondiale ou bien de l'épuisement des stocks d'énergie fossile, la question de la **gestion des ressources minérales** est rare. Et pourtant, nombre de ces ressources « alimentent » notre technologie, elles ne sont pas renouvelables et rarement recyclables (à titre d'exemple : le sable, première ressource exploitée au monde).

Ainsi se présente **l'occasion d'aborder les géosciences** qui s'intéressent aux ressources de notre planète (les ressources en matières premières, les ressources énergétiques, les eaux souterraines, tant pour la prospection que pour leur exploitation, …) et constituent un champ crucial pour l'avenir (recherche, technologies, emplois, …).

Les enjeux géopolitiques, sociaux, économiques seront évoqués. Outre les aspects environnementaux en termes de ressources et d'impacts générés par leur exploitation il sera également utile d'aborder la notion de risque (en lien direct ou non avec l'exploitation des ressources par l'être humain). Les notions **d'enjeux, d'aléas, de vulnérabilité et de risques** pourront être réinvesties.

Retrouvez éduscol sur :

Cette sous-thématique peut être également être l'occasion de :

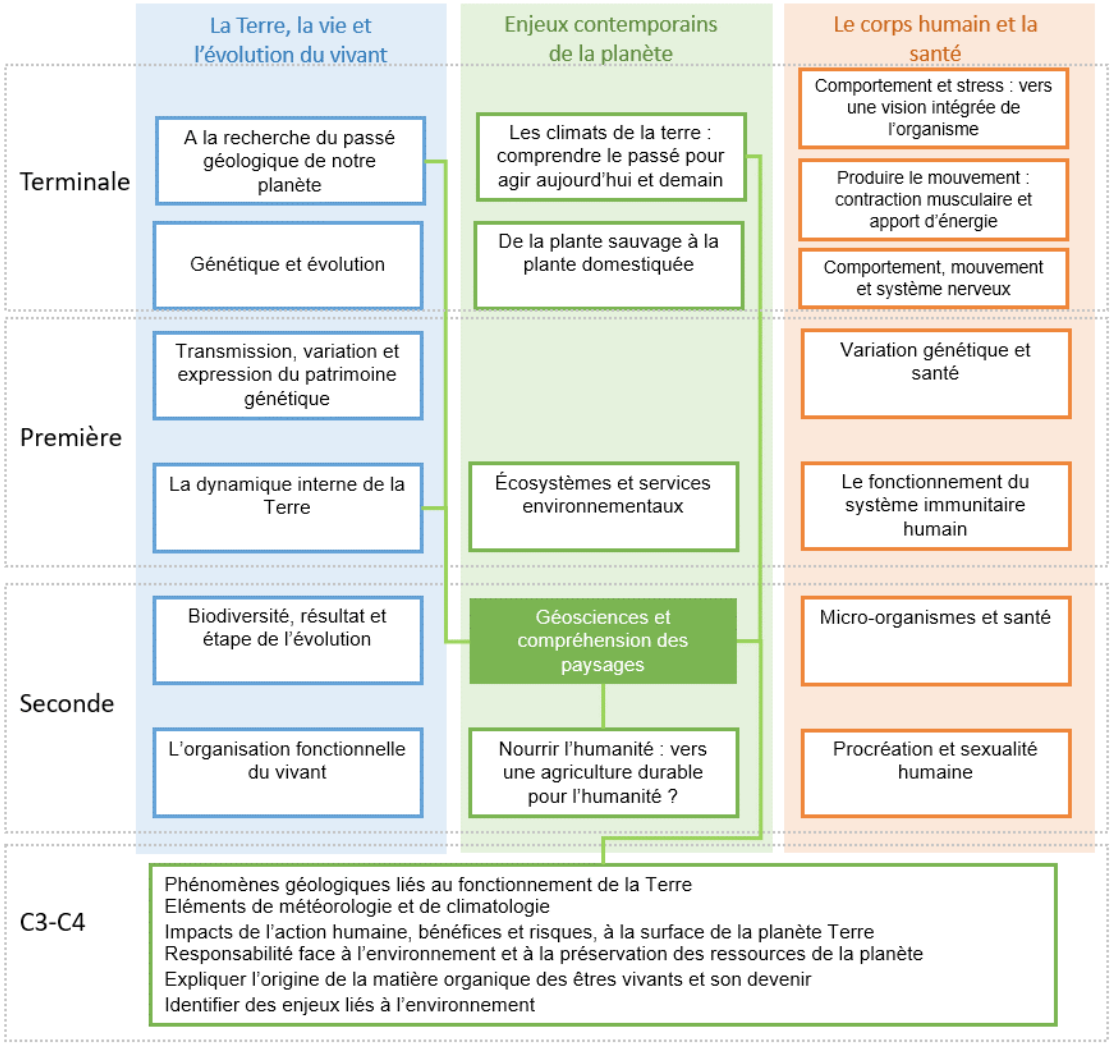
- découvrir les métiers et les voies de formation en lien avec les géosciences contribuant ainsi au parcours avenir des élèves ;
- comprendre la complexité des réglementations et des aménagements en lien avec les exploitations de sédiments ou de roches sédimentaires (Agir en citoyen responsable) ;
- développer des compétences spécifiques dans le cadre de l'éducation aux médias et à l'information.

Remarque

Même si elles se destinent aux élèves de première, les Olympiades de géosciences[1] (créées en 2007 par le ministère en charge de l'Éducation nationale dans le cadre de l'année internationale de la planète Terre) visent à valoriser les géosciences et leur image auprès des jeunes élèves. Dès la classe de seconde, il est intéressant de s'inspirer des sujets proposés dans ces Olympiades, pour inscrire les thématiques enseignées dans un contexte en prise avec la société et pour évoquer avec les élèves les enjeux des géosciences.

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



1. Les sujets des Olympiades des Géosciences sont accessibles avec ce lien.

Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Au collège les élèves abordent les risques et enjeux pour l'être humain en lien avec l'étude des phénomènes naturels. Si les notions de **prévision, d'aléas, de vulnérabilité et de risque en lien avec les phénomènes naturels** sont clairement abordées, les exemples servant de support sont le plus souvent liés aux phénomènes météorologiques (risques vents, submersion, inondations, crues, …).

Les notions d'altération, érosion et sédimentation n'ont pas été étudiées en tant que telles. Les élèves auront eu à comprendre et expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles (1-2 exemple(s) au choix : eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques, …) à différentes échelles.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Explorer et expliquer certains éléments de météorologie et de climatologie.
- Explorer et expliquer certains phénomènes géologiques liés au fonctionnement de la Terre.
- Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre.
- Envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

Connaissances et compétences associées

- Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels (exemple : séismes, cyclones, inondations) ainsi que ceux liés aux activités humaines aux mesures de prévention, de protection, d'adaptation et d'atténuation.
- Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société.
- Comprendre les choix et expliquer les choix en matière de gestion des ressources naturelles à différentes échelles.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

idées clés pour enseigner

En classe de 2de

Parties du sous-thème	Des notions…
L'érosion, processus et conséquences Sédimentation et milieux de sédimentation	**Des notions à consolider** [2] • Roche sédimentaire. • L'eau est le principal facteur d'altération et d'érosion. • L'eau transporte les produits de l'érosion. • L'érosion affecte la totalité des reliefs terrestres.
	Des notions nouvelles à bâtir • L'altération dépend de différents facteurs (nature des roches, climat, présence de végétation). • Une partie des produits d'altération sont transportés jusqu'au lieu de leur sédimentation. • Les roches sédimentaires sont formées par compaction et cimentation des dépôts sédimentaires suite à l'enfouissement.
Érosion et activité humaine	**Des notions à consolider** • Notions de prévision, d'aléas, de vulnérabilité et de risque. • Des mesures d'aménagement spécifiques peuvent limiter les risques.
	Des notions à consolider • L'être humain utilise de nombreux produits de l'érosion/sédimentation pour ses besoins. • L'activité humaine peut limiter ou favoriser l'érosion, entraînant des risques importants dans certaines zones du globe.

Précisions - limites	
En seconde	Ne pas traiter… • Des roches sédimentaires autres que les roches détritiques. • Les mécanismes détaillés de la diagénèse (on se limite à la compaction par enfouissement et cimentation). Concernant l'exhaustivité[3] des exemples : • Privilégier un paysage local que l'on peut comparer à un autre type de paysage. • Un ou deux risques associés suffisent pour remobiliser l'enjeu.
Notions détaillées en enseignement de spécialité	• Études pétrologiques.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.
3. D'une manière générale on évite l'exhaustivité : les élèves travaillent chaque année sur des exemples en nombre limité pour construire et enrichir des concepts tout au long de leur scolarité. Une pratique pédagogique permettant de contourner l'exhaustivité est d'envisager ponctuellement des travaux en atelier : plusieurs groupes d'élèves effectuent des recherches à partir d'exemples différents ; une mutualisation est effectuée ensuite.

Le sous-thème en trois tableaux synthétiques

L'érosion, processus et conséquence	
Objectifs	**Les processus d'altération et d'érosion.** • Altération = modification physique (gel/dégel, vent) et chimique (végétaux, eau) des roches. • Altération différente selon la nature de la roche (cohérence, composition, résistance). • Érosion = ablation des produits de l'altération + transports (nécessite une pente et/ou un flux). • Modalités de transport = flux particulaires lies au courant ou à la pente : particules en solution (diagramme de Goldschmidt) ou solides. • Ce qui n'est pas emporté participe à la formation d'un sol (lien vers agrosystème).
	Le rôle des processus d'altération et d'érosion dans la modification inexorable des paysages. • Décrire un paysage local. • Relier reliefs et circulation d'eau. • Relier altération et zones climatiques (diagramme Pedro) (reconstitution paléo-environnement). • Relier l'intensité de l'érosion avec la dynamique du vivant et des sols. • Altération/érosion différentielles àDifférentes géomorphologies = différents paysages.

Sédimentation et milieux de sédimentation	
Objectifs	**Comment se forme une ressource sédimentaire détritique.** • Les changements des conditions de transports entraînent la sédimentation des particules (rôle du pH, de la salinité, de la force du courant, de la taille des particules, …). • Différents milieux de dépôts. • La roche se forme par enfouissement, compaction, déshydratation et cimentation. • La roche formée dépend de la nature des dépôts (conglomérats, grès, pélites).
	La nécessité de gestion des ressources sédimentaires détritiques. • Reconstitution des conditions de formation de la ressource à partir de l'étude d'une roche sédimentaire détritique, en appliquant le principe d'actualisme. • Ressources non renouvelables à l'échelle humaine.

Érosion et activités humaines	
Objectifs	**Que l'exploitation des produits d'érosion/altération a des implications dans sa vie de tous les jours.** • Diversité des utilisations en fonction de la nature de la roche détritique. • Granulats (grès, sables) : en voiries routières et ferroviaires, dans la fabrication des bétons, mortiers, dans la construction, …). • Argiles : en céramique, en métallurgie, en médecine, dans les peintures, … • Importance de la gestion de ces ressources pour préserver les activités humaines.
	Que les activités humaines peuvent limiter ou favoriser l'érosion. L'érosion expose à des risques importants. • Comprendre une politique d'aménagement du territoire et la mise en place d'un plan national de Prévention des Risques Naturels pour limiter les risques liés à l'érosion. • Quantifier l'importance des mécanismes d'érosion actuelle et éventuellement la part liée aux activités humaines. • Identifier des zones en érosion (déserts, littoraux, sols), son impact sur l'environnement et la biodiversité et les risques associés (éboulements, inondations …).

Retrouvez éduscol sur :

Point de vigilance
Certaines définitions peuvent varier que l'on soit dans le domaine de la géologie, de l'agronomie ou de la géographie par exemple, et nous pouvons rencontrer des acceptions différentes de ces notions dans les travaux des chercheurs et donc dans les publications. C'est le cas pour des termes comme sol, sous-sol, altération, érosion. Il est important d'en être conscient et veiller à la cohérence du sens donné à ces termes dans l'enseignement au lycée.

Notions abordées en cycle terminal spécialité SVT et articulation avec l'enseignement scientifique

Les notions abordées en classe de seconde dans le cadre de l'étude de cette thématique seront réinvesties en classe de terminale enseignement de spécialité SVT lorsqu'il s'agira de s'intéresser aux climats de la Terre et de reconstituer et comprendre les variations climatiques passées (thème 2 – sous-thème « Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain »).

Certaines notions pourront également être réinvesties en enseignement scientifique du tronc commun en classe de terminale, notamment dans le thème 1 « science, climat et société ».

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

La partie « érosion et activités humaines » peut tout à fait être une situation de départ autour de la question des besoins et/ou des risques en lien avec la géodynamique externe que l'on problématisera pour engager une démarche de projet, une démarche scientifique de recherche de preuves nécessitant de convoquer les précédentes parties. Elle ne correspond plus à une partie enseignée pour elle-même mais devient le fil rouge de cette sous thématique du programme, en lien évident avec l'éducation au développement durable.

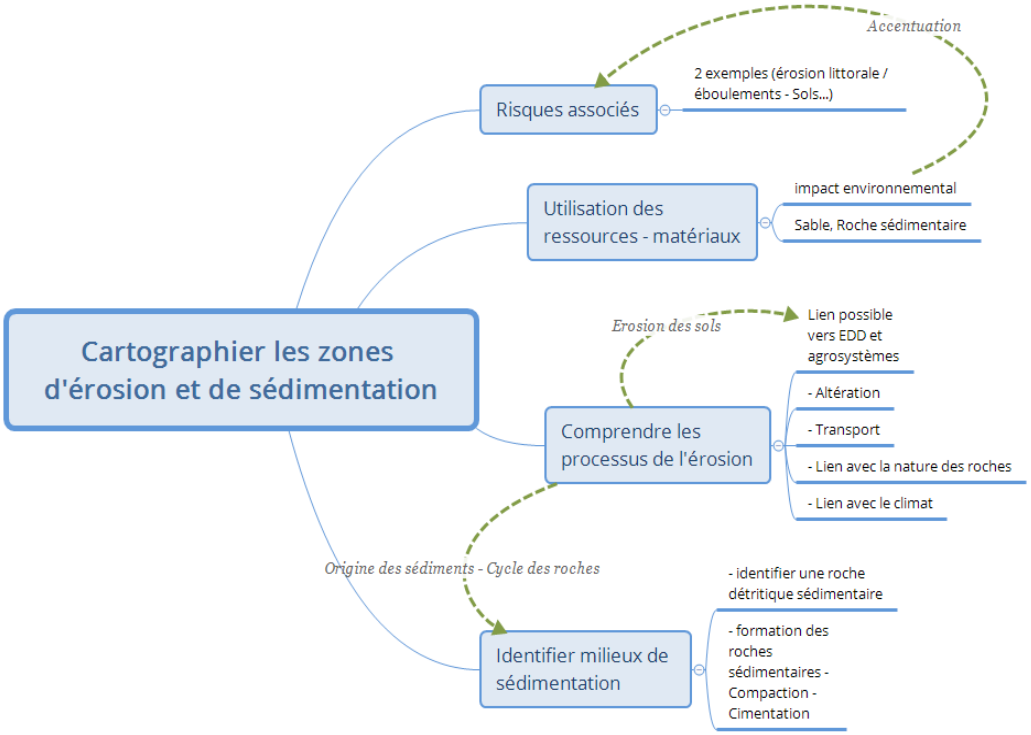
Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, … Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

À titre d'exemple[4], la carte heuristique ci-dessous part d'une problématisation possible : « l'utilisation des ressources sédimentaires peut-elle accentuer certains risques environnementaux ? »

Traiter scientifiquement cette large question amènera notamment à :
- comprendre les processus d'altération, d'érosion et de sédimentation ;
- cartographier des zones pour établir des zones d'exploitation et corréler avec des zones à risques.

Retrouvez éduscol sur :

4. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.



Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

Sitographie – Bibliographie

Ressources scientifiques

- Planet Terre – ENS Lyon.
- Eduterre – ENS Lyon : l'eau agent d'érosion.
- Infoterre – BRGM :
  - Visualiseur de données géoscientifiques
  - Cartes géologiques numériques
- Eduterre – IFE ENS Lyon : étude de l'érosion des sols en laboratoire grâce au simulateur de pluie de l'INRA d'Orléans.
- IFE – Formaterre 2011 : **conférence : De la roche au paysage, du patrimoine géo (morpho) logique au territoire : évaluation, gestion, valorisation** IFE-Formaterre 2011.
- BRGM : bureau des ressources géologiques et minières.
- Conservatoire du littoral : des ressources très riches et variées (évolution du trait de côte, évolution des paysages, données historiques, photos, cartes interactives, …).
- GIP Seine aval **:** fonctionnement hydrosédimentaire de la Seine.
- IGN :
  - Géoportail : portail de la connaissance du territoire.
  - « Remonter le temps » : des cartes et photographies aériennes actuelles et anciennes pour comparer.
- Géorisques : Ministère de la transition écologique et solidaire - Calcul de la puissance spécifique d'un cours d'eau : produit de la pente et du débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau. Les capacités d'ajustement du cours d'eau sont en grande partie fonction de la puissance spécifique.
- BRGM – risques naturels géologiques.
- Application « QUALIT'EAU » destinée au grand public et au public averti, permet d'extraire des données brutes ou élaborées sur les eaux souterraines et les eaux superficielles. Deux types de recherche sont proposés : soit par commune, soit par milieu.
- Université de Lyon : diagramme de Hjulström – Présentation et critique.

Retrouvez éduscol sur :

- Canal U – vidéos
  - Les sédiments charriés en rivière. Processus et mesures sur le terrain (1).
  - Lois physiques. Transport solide par charriage (1).
- Modélisation expérimentale de rivière. Des pistes dans la thèse de Grégoire Seizilles de Mazancourt.

Bases de données

- Ozcar : Observatoire de la zone critique - OZCAR est une infrastructure de recherche nationale distribuée dédiée à l'observation et à l'étude du fonctionnement des surfaces terrestres, des sous-sols à la basse atmosphère, depuis les hauts reliefs jusqu'aux régions côtières. OZCAR met en synergie des sites instrumentés en France et à l'étranger qui s'appuient sur des observations long terme de l'eau, des glaces, des sols, des zones humides et de leur biodiversité. OZCAR est une plateforme communautaire qui s'intéresse à l'état et au devenir de la ressource en eau et en sol selon une vision scientifique intégrée de l'environnement et des territoires.
- Observatoire des sédiments du Rhône : Matières en suspension (Gier à Givors).
- Système d'information sur l'eau du bassin Adour Garonne.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie : procédures avec accès en ligne.

Ressources pédagogiques

Lithothèques :

- accès aux lithothèques académiques par le portail SVT.
- quelques exemples :
  - Les méandres de la Seine à Champagne – Lithothèque de Créteil.
  - La plaine alluviale et la butte témoin de Chelles – Lithothèque de Créteil.
  - Les Ocres d'Apt – Lithothèque d'Aix-Marseille.
  - Une butte témoin Cénomanienne en Anjou – Lithothèque de Nantes.
  - Méandre du gave d'Oloron depuis sa rive convexe – Lithothèque de Bordeaux.
  - Méandre de Saint Cirq Lapopie – Géolthèque du Sud-Ouest.
  - Carnet de terrain (application pour mobile) : présentation, accès au téléchargement et aux tutoriels – Site académique de Reims.

Éducation au développement durable

- Éduscol : education au développement durable.
- UNESCO : les Objectifs de Développement Durable (ODD).
- UNESCO : les Objectifs d'apprentissage des ODD.

Éducation aux médias et à l'information

- Éduscol : éducation aux médias et à l'information.

Des productions sur des sites académiques SVT

- La réalité augmentée aves Sandbox – académie de Limoges.
- Utiliser les SIG dans le cadre d'une classe de terrain FGIS – académie de Nantes.
- Geomap – académie de Besançon.
- Sujets des Olympiades de Géosciences – académie d'Aix-Marseille.

Bibliographie

- Dynamique de l'eau, de l'érosion à la sédimentation Philippe Négrel, Christophe Rigollet - Géosciences n° 13, juillet 2011.

Retrouvez éduscol sur :

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

MICROORGANISMES ET SANTÉ

Thème

Thème 3 : le corps humain et la santé.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de préciser le sens qu'il est possible d'attribuer aux différentes parties du programme. Cette contribution au sens repose notamment sur les liens avec des enjeux éducatifs, la cohérence avec les programmes des autres niveaux, l'identification des fondamentaux à construire, des problématisations possibles pour contextualiser.
La séquence présentée n'a pas vocation à être modélisante : elle propose une façon d'aborder cette partie du programme. Les durées proposées sont indicatives et selon les investigations menées des démarches différentes peuvent être envisagées.

Mots-clés

Pathogène, vecteur, réservoir à pathogènes, cycle évolutif, épidémie/endémie, modes de transmission, traitements, prophylaxie, vaccins, porteur sain.
Symbiose ; hôte et microbiote ; unicité et diversité du microbiote ; habitudes alimentaires et évolution du microbiote ; microbiote maternel et construction de la symbiose hôte-microbiote ; compétition entre microbes.

Enjeux éducatifs

Au lycée, les études menées dans le cadre de la mise en œuvre du sous-thème « micro-organismes et santé » ont pour objectif d'amener les élèves à **saisir comment la santé se définit aujourd'hui dans une approche globale intégrant l'individu dans son environnement en prenant en compte les enjeux de santé publique**.

Les études menées dans le cadre de l'étude de cette thématique contribuent fortement à l'éducation à la santé[1]. La recrudescence actuelle de maladies infectieuses d'origine virale (par exemple la rougeole) ou bactérienne (par exemple la tuberculose) doit être interrogée au regard des (nouveaux) comportements individuels ou collectifs (défiance vis-à-vis des vaccins, mauvaise utilisation des antibiotiques, relâchement des comportements préventifs, …) mais aussi au regard des changements climatiques (propagation des vecteurs ,…).

1. Portail de l'éducation à la santé – Eduscol - https://eduscol.education.fr/pid23365/promotion-de-la-sante.html

Dans le domaine de la santé, une très grande diversité de messages sont véhiculés au sein de la société, et **l'exercice de l'esprit critique** est particulièrement nécessaire, que ce soit face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences, ou tout simplement pour **distinguer opinions, croyances et faits scientifiques**.

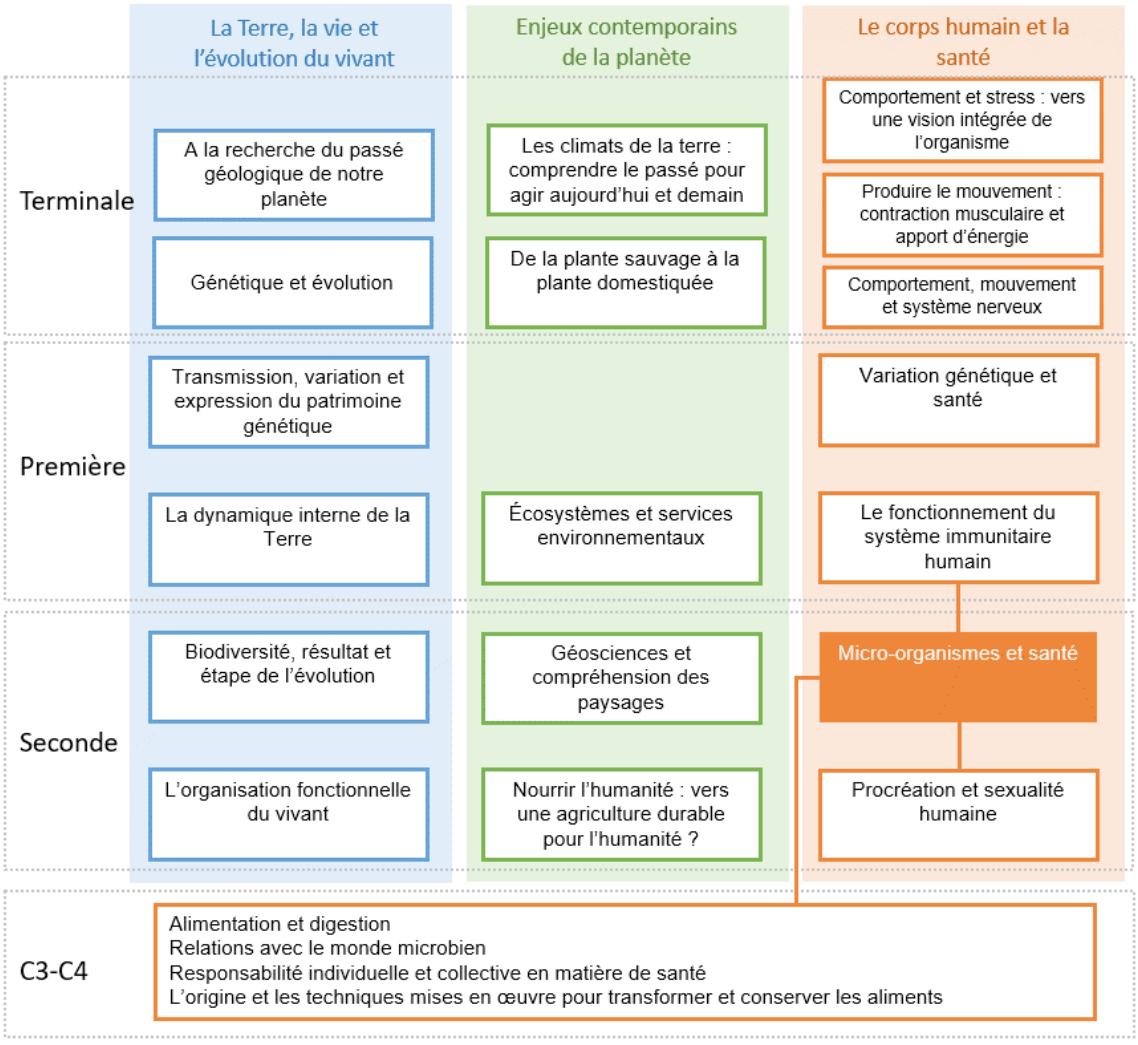
Face aux opinions non fondées il s'agit d'apporter une argumentation scientifique venant étayer la responsabilité de chacun(e) en termes de santé individuelle et de santé publique : se protéger, c'est protéger les autres.

Au-delà de la vaccination (et de ce que veut dire une « couverture vaccinale efficace »), les élèves doivent comprendre que la connaissance des mécanismes de propagation d'un pathogène permet aussi d'induire des comportements préventifs qui ne sont pas des traitements médicaux (protection et lutte contre les vecteurs).

Les études menées dans le cadre des thématiques en lien avec la santé sont également l'occasion de découvrir les **métiers actuels ou émergents** liés aux domaines de la santé.

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Retrouvez éduscol sur :

Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Le monde microbien n'est pas inconnu des élèves sortant de collège. Dès le cycle 3 et l'étude du vivant à l'échelle cellulaire, les élèves abordent le rôle des microorganismes dans la production et la conservation des aliments.

Au cycle 4 ils relient le monde microbien hébergé par notre organisme et son fonctionnement (le plus souvent avec l'exemple du microbiote intestinal). Au sein de la thématique « corps humain et santé » les élèves investiguent les bases des réactions immunitaires (quelles réactions permettent à l'organisme de se préserver des micro-organismes pathogènes : défense innée, défense acquise : sans aller au niveau moléculaire – les anticorps sont cités mais leur structure n'est pas exigée).

Les mesures d'hygiène, la vaccination, les actions des antiseptiques et des antibiotiques sont abordées.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Relier la connaissance des processus biologiques aux enjeux liés aux comportements responsables individuels et collectifs en matière de santé.

Connaissances et compétences associées

- Relier le monde microbien hébergé par notre organisme et son fonctionnement.
- Expliquer les réactions qui permettent à l'organisme de se préserver des micro-organismes pathogènes.
- Argumenter l'intérêt des politiques de prévention et de lutte contre la contamination et/ou l'infection.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

idées clés pour enseigner

En classe de 2de

Parties du sous-thème	Des notions…
Agents pathogènes et maladies vectorielles	**Des notions à consolider** [2] • Certaines maladies causées par des agents pathogènes sont transmises directement entre êtres humains ou par le biais d'animaux tels que les insectes (maladies vectorielles). • Se préserver des microorganismes pathogènes : les comportements individuels et collectifs permettent de limiter la propagation (gestes de protection, mesures d'hygiène, vaccination, etc.). • Les agents pathogènes (virus, certaines bactéries ou certains eucaryotes) vivent aux dépens d'un autre organisme, appelé hôte (devenu leur milieu biologique), tout en lui portant préjudice (les symptômes). • La propagation peut être plus ou moins rapide et provoquer une épidémie (principalement avec des virus).
	Des notions nouvelles à bâtir • La propagation du pathogène exige soit un contact entre hôtes, soit par le milieu ambiant, soit un vecteur biologique qui est alors l'agent transmetteur indispensable du pathogène. • Le réservoir de pathogènes peut être humain ou animal. • La connaissance de la propagation du pathogène (voire, s'il y en a un, du vecteur) permet d'envisager les luttes individuelles et collectives. • Le changement climatique peut étendre la transmission de certains pathogènes en dehors de leurs zones historiques.
Microbiote humain et santé	**Des notions à consolider** • Le microbiote humain représente l'ensemble des microorganismes qui vit sur et dans le corps humain. • Les interactions entre hôte et microbiote jouent un rôle essentiel pour le maintien de la santé et du bien-être de l'hôte. • Le microbiote intestinal a un rôle indispensable dans l'immunité et dans la digestion.
	Des notions nouvelles à bâtir • Le microbiote se met en place dès la naissance et évolue en fonction de différents facteurs comme l'alimentation (présence de fibres) ou les traitements antibiotiques. • Certaines bactéries ont des propriétés anti-inflammatoires. • La modulation du microbiote ouvre des pistes de traitement dans certains cas de maladies. • Certains microorganismes normalement bénins du microbiote peuvent devenir pathogènes en cas d'affaiblissement du système immunitaire.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Précisions - limites	
En seconde	Ne pas traiter… • La connaissance des prébiotiques ou probiotiques. Concernant l'exhaustivité[3] des exemples : • limiter les exemples par l'étude d'une maladie à transmission directe (VIH) et d'une à transmission vectorielle (par exemple le paludisme).
Notions détaillées en enseignement de spécialité	• Mutations et santé. • Les maladies héréditaires. • Patrimoine génétique et santé. • Variation génétique bactérienne et résistance aux antibiotiques. • Le fonctionnement du système immunitaire humain.

Le sous-thème en deux tableaux synthétiques

Agents pathogènes et maladies vectorielles	
Objectifs	**Le rôle des agents pathogènes présents dans notre environnement dans la transmission des maladies.** **L'exploitation de bases de données** et de données sur le VIH-SIDA et le paludisme et **l'observation microscopique** de frottis sanguins et d'appareil buccaux d'insectes permettent de construire les notions suivantes. • Divers agents pathogènes vivent au dépens d'un hôte, lui portent préjudice (→ symptômes) et sont la cause de maladies. • Les humains et d'autres animaux peuvent être des réservoirs de pathogènes. • Les pathogènes peuvent se propager (=changer d'hôte) par contact direct, par le milieu ambiant ou par l'intermédiaire d'un vecteur biologique (qui permet la maturation/multiplication du pathogène). La propagation plus ou moins rapide est à l'origine d'épidémies (virales principalement).
	Les mesures prises individuellement et collectivement pour limiter la propagation des pathogènes dans la lutte contre les épidémies. **L'exploitation de bases de données** et de données de santé publique française et mondiale permettent de construire les notions suivantes : • la connaissance de la propagation des pathogènes permet d'adopter des comportements individuels et collectifs (vaccination, hygiène, protection, …) pour lutter contre les épidémies ; • le changement climatique peut étendre la propagation des épidémies.

3. D'une manière générale on évite l'exhaustivité : les élèves travaillent chaque année sur des exemples en nombre limité pour construire et enrichir des concepts tout au long de leur scolarité. Une pratique pédagogique permettant de contourner l'exhaustivité est d'envisager ponctuellement des travaux en atelier : plusieurs groupes d'élèves effectuent des recherches à partir d'exemples différents ; une mutualisation est effectuée ensuite.

Microbiote humain et santé	
Objectifs	**Les bénéfices de la symbiose entre l'Homme et ses microbiotes.** **L'analyse et la critique d'expériences historiques ou d'informations** sur les relations bactéries/santé et sur les effets du microbiote permettent de construire les notions suivantes. • Les microorganismes du microbiote et l'Homme sont en interaction, ce qui est essentiel à la santé humaine (immunité, contrôle de l'inflammation, digestion, …) • Cette interaction peut aussi s'avérer délétère : il pourrait y avoir des liens entre des déséquilibres du microbiote et certaines pathologies, en particulier des maladies auto-immunes et inflammatoires. L'étude de ces liens peut ouvrir des perspectives thérapeutiques. • Concernant les liens entre dysbiose et pathologies, il est important de rappeler que les pathologies citées ont en général une origine multifactorielle, à la fois génétique et environnementale (alimentation, âge, ...) : la part respective de ces facteurs peut être variable d'un individu à l'autre, les mécanismes peuvent être complexe (il peut y avoir des effets à différents niveaux et des liens de causalités diverses).
	L'évolution du microbiote humain au cours de la vie et « la nécessité d'un équilibre ». **L'exploitation de données et l'évaluation des pratiques hygiéniques** permettent de construire les notions suivantes. • Le microbiote mis en place dès la naissance évolue au cours de la vie. • Un déséquilibre entre les microorganismes du microbiote peut le rendre pathogène pour son hôte.

Points de vigilance

- Si l'existence d'un microbiote est connue depuis longtemps, ce n'est que **récemment** que la recherche peut témoigner de son étendue : les techniques modernes de séquençage, en particulier grâce à la métagénomique, ont mis à jour l'incroyable biodiversité du microbiote. Ainsi, une étude récente a montré que le corps humain héberge près de 250 espèces de bactéries et qu'il se compose davantage de cellules issues du microbiote (de l'ordre de 40 000 milliards de bactéries) que de ses propres cellules. Le caractère récent des avancées scientifiques (années 2000) sur ce sujet a également pour conséquence que nombreuses sont celles qui en sont à un stade encore exploratoire.
- **Le microbiote humain est organisé en écosystèmes ayant des fonctions physiologiques. L'étude de ce thème est donc l'occasion de mobiliser les acquis des élèves sur le fonctionnement d'un écosystème** (équilibre dynamique, résilience, entrées et sorties, impacts de facteurs externes ,…) afin notamment de lui permettre d'appréhender de façon scientifique des questions de santé liées au microbiote.

Quelques pistes pour problématiser

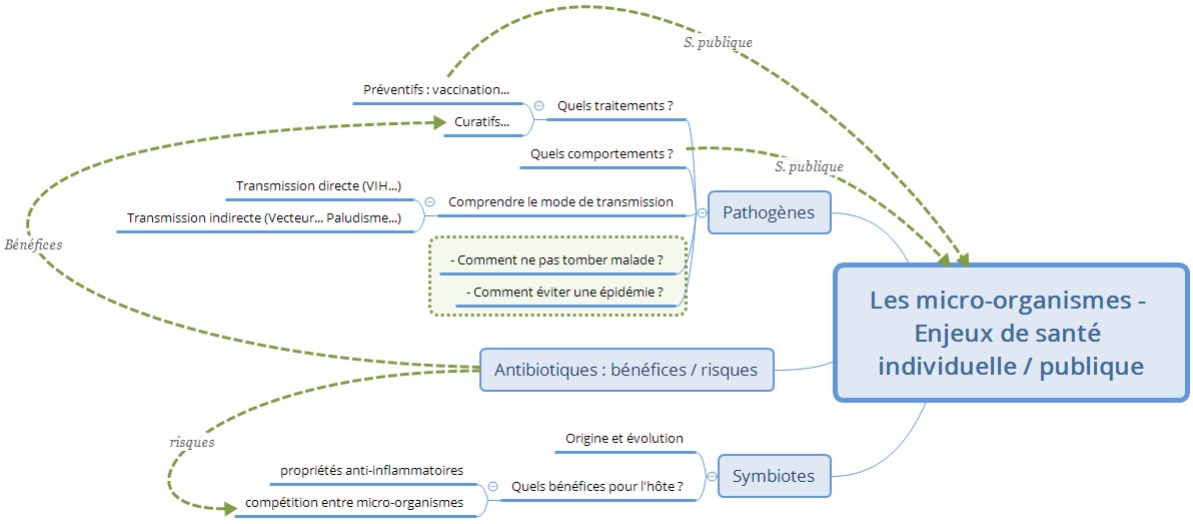
Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

Cet exemple[4] d'heuristique part d'une problématisation possible autour de l'utilisation des antibiotiques : « utilisation des antibiotiques : bénéfices ou risques ? ».

Pour traiter scientifiquement cette large question il faudra :

- comprendre que, selon les cas, les microorganismes sont « utiles » (symbiotes) ou « dangereux » (pathogènes) ;
- comprendre que l'utilisation des antibiotiques est donc à manier avec précaution : s'ils détruisent certains pathogènes, ils impactent possiblement le microbiote ;
- argumenter scientifiquement la pertinence de certains traitements et de certains comportements visant à prévenir ou à guérir. Pour cela l'étude des pathogènes, de leur mode de transmission est nécessaire.



Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

4. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.

Le point sur le microbiote

Le microbiote est constitué par l'ensemble des micro-organismes (bactéries, microchampignons, protistes, virus) vivant chez un hôte.

Souvent associé à la « flore intestinale », le microbiote concerne aussi d'autres organes chez les animaux et également chez les végétaux (au niveau de la rhizosphère en particulier).

Les principaux microbiotes symbiotiques de l'être humain :

Localisation	Rôles
Microbiote intestinal	Fonctionnement du système immunitaire de l'hôte : • rôle protecteur de type barrière de la paroi intestinale ; • des bactéries comme Escherichia coli luttent directement contre la colonisation du tube digestif par des espèces pathogènes (compétition spatiale et production de substance bactéricides). Fonctionnement de la digestion : • fermentation des substrats et des résidus alimentaires non digestibles (nombreuses fibres alimentaires) ; • hydrolyse de l'amidon, de la cellulose, des polysaccharides, ... • fermentation des sucres et des protéines ; • synthèse de vitamines (K, B12, B8) ; • assimilation de nutriments grâce à un ensemble d'enzymes spécifiques au microbiote ; • régulation de plusieurs voies métaboliques : absorption des acides gras, du calcium, du magnésium, …
Microbiote cutané	Fonctionnement du système immunitaire de l'hôte : • rôle protecteur de type barrière de la peau (compétition spatiale) ; • protection contre l'inflammation de la peau par des pathogènes. Une partie du microbiote cutané est partagé avec le microbiote des muqueuses, notamment respiratoires.

Le dossier de l'Inserm « Microbiote intestinal (flore intestinale) »présente de manière plus détaillée les rôles du microbiote et constitue une source intéressante de documents divers pour lancer des recherches avec les élèves.

Il est intéressant de constater qu'un microorganisme du microbiote peut s'avérer bénéfique pour l'hôte dans certaines conditions et devenir pathogène dans d'autres. Ainsi le champignon *Candida albicans* est un contributeur à la digestion dans l'intestin mais qui devient pathogène s'il se retrouve dans d'autres organes.

Les déséquilibres du microbiome sont étudiés en tant que voies prometteuses en médecine. Ainsi des changements ou déséquilibres dans la composition des populations bactériennes de l'intestin, le microbiote peut être associé à des troubles tel que le diabète de type 2, l'obésité ou bien les maladies cardiovasculaires.

Des composantes du microbiote ont été associées aux maladies inflammatoires chroniques de l'intestin telles que la maladie de Crohn ou la rectocolite hémorragique, mais aussi au développement d'allergies et au cancer colorectal.

Sitographie

Ressources scientifiques

Agents pathogènes et maladies vectorielles

- Institut Pasteur
- IRD (institut de recherche et de développement)
- Institut de veille sanitaire - des données épidémiologiques nationales et par région pour suivre une épidémie
- INSERM - Institut national de la santé et de la recherche médicale - des articles scientifiques sur la recherche médicale en matière de santé humaine, des fiches métiers pour découvrir le parcours des chercheurs
- INPES - Institut national de prévention et d'éducation pour la santé - des articles, des vidéos, des outils pédagogiques pour la prévention et la promotion de la santé
- Santé Publique France - infections à VIH et SIDA
- Collège de France - l'épidémiologie, ou la science de l'estimation du risque en santé publique
- Ressources ARS (Agence Régionale de Santé)
  - ARS Mayotte/La Réunion
  - ARS de la Guyane (base de données)
- Plateforme ELSA - lien entre paludisme et SIDA ELSA base de données sur le paludisme
- Vidéo INRA sur les Tiques (ressources vidéos clés en main)
- Site de sciences participatives - un projet de science participative où les citoyens peuvent aider la recherche sur les tiques et les maladies qu'elles transmettent

Microbiote

- Site ACCES – ENS Lyon :
  - Dossier thématique scientifique et pédagogique
  - Anté-Immunité
- INSERM - lien entre microbiote et immunité
- INRA
- « Jamais seul » : conférence de Marc André Selosse – professeur au MNHN - (Conférence Agora des savoirs)
- Colloque AFPSVT du 30 et 31 janvier 2019 : Microbes et interactions (Vidéos et diaporamas téléchargeables)
- Vidéo « les effets thérapeutiques du microbiote » - Arte – Futuremag
- Académie des Sciences - À la découverte de l'Homo microbicus

Articles

- Simonneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with « microbes », as a contribution to research in biotechnology education. International Journal of Science Education, 22(6), 619-644.
- Byrne, J., Grace, M., & Hanley, P. (2009). Children's anthropomorphic and anthropocentric ideas about micro-organisms : Educational research. Journal of Biological Education, 44(1), 37-43.
- Rene, E., & Guilbert, L. (1994). Les représentations du concept de microbiote : un construit social contournable ? Didaskalia, (3), 43-60.
- Dossier Pour la Science : Intestin, organe qui révolutionne la médecine – Avril 2017.

Ressources pédagogiques

Agents pathogènes et maladies vectorielles

- Académie de Corse - production du groupe académique, notamment activité sur Lyme)
- Académie de Versailles – modélisation couverture vaccinale
- ENS Lyon - Dossier thématique sur l'immunité et la vaccination : des conférences en ligne, des outils numériques à exploiter en classe, des articles de presse, …

Microbiote

- Réseau Canopé :
  - Rôle microbiote sur santé
  - Le microbiote et l'obésité
  - Canopé Corpus - vidéos de M.A Selosse sur le microbiote
- ACCES – ENS Lyon - Logiciels modélisations : NetBioDyn et Edu-Modèles
- Site SVT Académie Nice : Modélisation du microbiote résistance à la colonisation le logiciel Edu'modèles par Cosentino

Education à la santé

- Éduscol – promotion de la santé à l'école
- Éduscol – portail éducation à l'alimentation et au goût
- Éduscol – écoles promotrices de santé
- UNESCO - les objectifs de développement durable (ODD) (objectif 3 « bonne santé et bien-être » – objectif 6 « eau propre et assainissement »)
- UNESCO - les objectifs d'apprentissage des ODD
- OMS (Organisation mondiale de la Santé)

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT COMMUN

PROCRÉATION ET SEXUALITÉ HUMAINE

Thème

Thème 3 : Le corps humain et la santé.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Hormones sexuelles (testostérone, progestérone, œstrogènes) ; organes cibles, follicules ; corps jaune ; cellules interstitielles ; tubes séminifères ; gène SrY ; gonades indifférenciées et différenciées.
Cortex/Zones cérébral(es) – système de récompense.
Hormones et neurohormones hypothalamo-hypophysaires (FSH, LH et GnRH) ; modes d'action biologique des molécules exogènes.

Enjeux éducatifs

Ce thème contribue tout particulièrement à deux éducations transversales : l'éducation à la santé des élèves en général et l'éducation à la sexualité (EAS)[1]. Au collège et au lycée il est prévu **trois séances annuelles d'éducation à la sexualité mises en place**, en complément des différents enseignements dispensés en cours.

Les séances d'EAS sont organisées en articulation avec les programmes, sont prises en charge par une équipe composée d'enseignants et de personnels d'éducation, sociaux et de santé, si nécessaire en collaboration avec des intervenants extérieurs agréés.
Les interventions devant les élèves s'effectuent en binôme. Un guide[2] a été publié pour accompagner leur mise en œuvre.

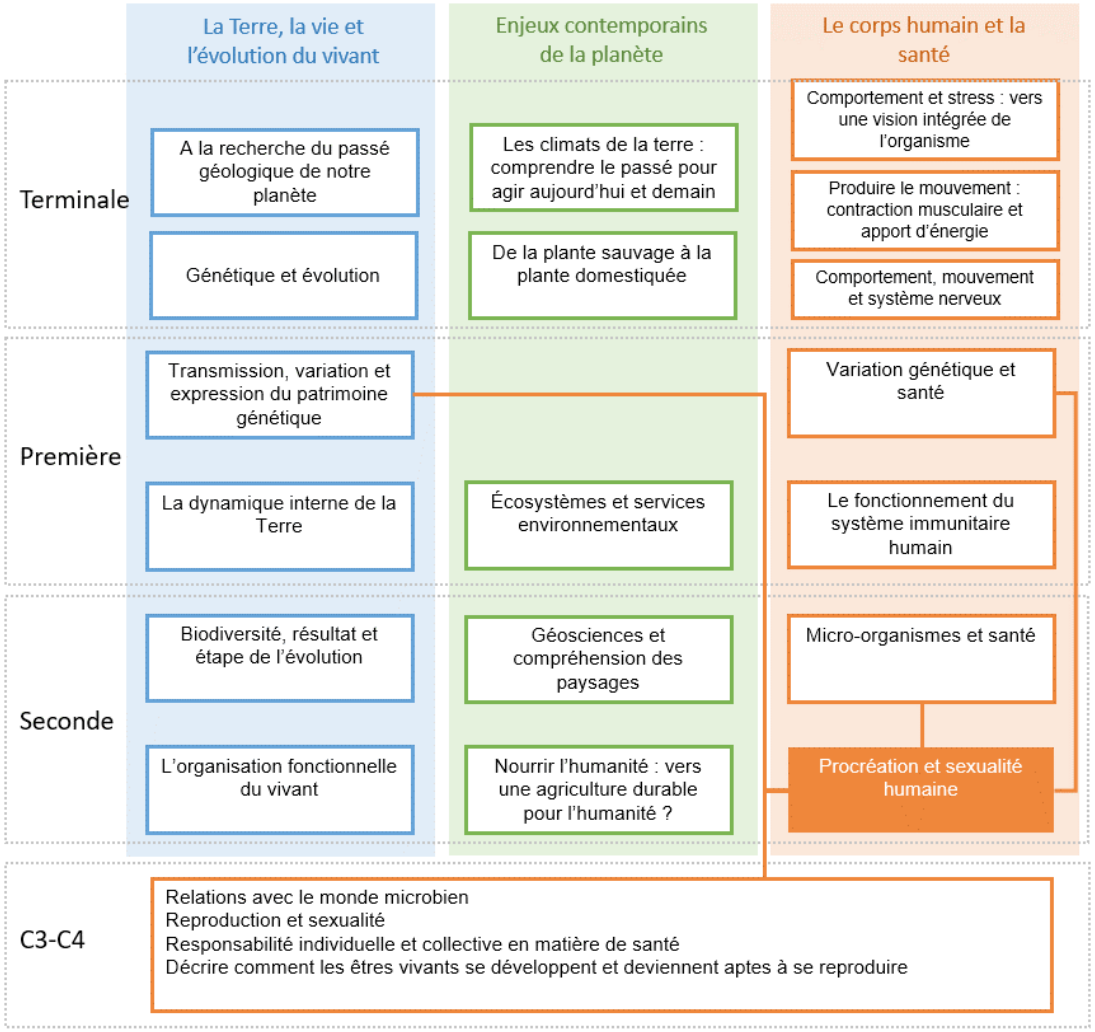
1. Texte de référence sur l'éducation à la sexualité
2. Guide EAS

Cette partie du programme de seconde apportera donc de nombreuses occasions de construire des connaissances scientifiques pour responsabiliser les élèves quant à leur vie sexuelle et affective :

- en remobilisant et en construisant de nouvelles notions autour de la puberté, de la contraception, de la prévention contre les IST, de la mise en place de l'identité sexuée, …
- en abordant la dimension biologique du plaisir cérébral (les autres composantes de la sexualité, psycho-affective et sociale, gagneront à être abordées dans le cadre de séance(s) EAS).

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Les élèves savent que la reproduction sexuée repose sur la rencontre des gamètes. Ils ont compris que la fonctionnalité des appareils reproducteurs (avec production des cellules reproductrices « spermatozoïdes-ovules ») chez l'être humain, s'acquiert progressivement au cours de la puberté avec la mise en place des caractères sexuels secondaires. L'existence de contrôles hormonaux est abordée dans ce cadre. Le sexe chromosomique est connu.

Au cours du cycle 4 les élèves auront en outre abordé :

- les comportements responsables dans le domaine de la sexualité : fertilité, grossesse, respect de l'autre, choix raisonné de la procréation, contraception, prévention des infections sexuellement transmissibles ;
- la communication nerveuse (notions de message nerveux, centres nerveux, nerfs, cellules nerveuses) ;
- des exemples associés à l'hygiène de vie pour les conditions d'un bon fonctionnement du système nerveux (en particulier dans le cas de l'activité cérébrale).

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

Expliquer quelques processus biologiques impliqués dans le fonctionnement de l'organisme humain jusqu'au niveau moléculaire : reproduction et sexualité.

Connaissances et compétences associées

- Relier le fonctionnement des appareils reproducteurs à partir de la puberté aux principes de maîtrise de la reproduction.
- Expliquer sur quoi reposent les comportements responsables dans le domaine de la sexualité : fertilité, grossesse, respect de l'autre, choix raisonné de la procréation, contraception, prévention des infections sexuellement transmissibles.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

idées clés pour enseigner

En classe de 2de

Parties du sous-thème	Des notions…
Corps humain : de la fécondation à la puberté Hormones et procréation humaine	**Des notions à consolider** [3] • La mise en place de l'organisation et de la fonctionnalité des appareils sexuels se réalise sur une longue période qui va de la fécondation à la puberté. • L'existence d'hormones sexuelles contrôlant le fonctionnement des organes impliqués et la mise en place des caractères sexuels secondaires. • Chez la femme et chez l'homme, des molécules de synthèse sont utilisées dans la contraception régulière (« la pilule »), la contraception d'urgence féminine, les hormones contragestives dans le cadre de l'interruption volontaire de grossesse (IVG) médicamenteuse, ainsi que la contraception hormonale masculine. • D'autres modes de contraception existent chez l'homme et la femme ; certains permettent de se protéger des infections sexuellement transmissibles (IST) et d'éviter leur propagation.
	Des notions nouvelles à bâtir • L'identité sexuée est fondée sur le sexe chromosomique et génétique (gène SrY). • Le fonctionnement de l'appareil reproducteur repose sur un dispositif neuroendocrinien faisant intervenir l'hypothalamus, l'hypophyse et les organes sexuels. • La connaissance de plus en plus précise des hormones naturelles endogènes contrôlant les fonctions de reproduction humaine a permis la mise au point de molécules de synthèse. • Selon les problèmes de stérilité ou d'infertilité, différentes techniques médicales peuvent être utilisées pour aider à la procréation : assistance médicale à la procréation (AMP), hormones pour permettre ou faciliter la fécondation et/ou la gestation.
Cerveau, plaisir, sexualité	**Des notions à consolider** • Les facteurs affectifs et cognitifs ainsi que le contexte culturel ont une influence majeure sur le comportement sexuel humain.
	Des notions nouvelles à bâtir • Chez l'homme et la femme, le système nerveux est impliqué dans la réalisation de la sexualité. Le plaisir repose notamment sur des mécanismes biologiques, en particulier l'activation dans le cerveau du système de récompense.

3. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Précisions - limites	
En seconde	Il faudra veiller à mettre en œuvre des stratégies pédagogiques qui permettent aux élèves de mobiliser, consolider et renforcer les acquis de collège et de problématiser au sujet des notions nouvelles à aborder. Ne pas traiter… • Le développement embryonnaire et fœtal des organes génitaux. • Le détail des mécanismes génétiques et moléculaires expliquant l'influence du sexe génétique sur le sexe phénotypique. • Les mécanismes cérébraux du plaisir sont étudiés seulement d'une façon globale (activation de zones cérébrales) sans explicitation des phénomènes cellulaires : il existe un « système de récompense » impliquant plusieurs régions du cerveau (le terme de dopamine n'est pas exigible). • Les différents types de rétrocontrôle : l'élève doit comprendre qu'il existe une régulation faisant intervenir différentes hormones entre le cerveau et les gonades et que l'utilisation de molécules de synthèse a des conséquences sur cette régulation. • Les mécanismes cellulaires de l'action des hormones, de même que les voies de leur synthèse. Concernant l'exhaustivité[4] des exemples : • L'étude de quelques anomalies génétiques ou développementales est traitée dans le but de montrer le lien entre le gène SrY et la transformation des gonades indifférenciées : ces anomalies ne sont pas abordées pour elles-mêmes.
Notions détaillées en enseignement de spécialité	Les rétrocontrôles hormonaux.

4. D'une manière générale on évite l'exhaustivité : les élèves travaillent chaque année sur des exemples en nombre limité pour construire et enrichir des concepts tout au long de leur scolarité. Une pratique pédagogique permettant de contourner l'exhaustivité est d'envisager ponctuellement des travaux en atelier : plusieurs groupes d'élèves effectuent des recherches à partir d'exemples différents ; une mutualisation est effectuée ensuite.

Le sous-thème en trois tableaux synthétiques

Corps humain : de la fécondation à la puberté Hormones et procréation humaine	
Objectifs	**La construction de l'identité sexuée et l'acquisition de l'aptitude à se reproduire se construit de la fécondation à la puberté.** • Les caractères sexuels primaires se mettent en place au cours du développement prénatal : différenciation des organes génitaux internes et externes sans entrer dans le détail. Ils définissent le sexe civil d'un individu à la naissance. • Les caractères sexuels secondaires se mettent en place au cours de la puberté : dimorphisme sexuel (forme du corps, pilosité, glandes mammaires, …) ; début de fonctionnalité des organes reproducteurs (productions de cellules reproductrices et production d'hormones comme la testostérone, les œstrogènes, la progestérone).
	Les relations existantes entre chromosomes sexuels, certains gènes dont le gène SrY, certaines hormones, qui induisent la construction du sexe biologique et l'acquisition de l'aptitude à se reproduire. • Cette différenciation est déterminée par les chromosomes sexuels hérités et certains gènes dont le gène SRY chez l'homme hérités des parents au cours de la fécondation. • Le sexe féminin n'est pas un « sexe par défaut ». Les recherches actuelles montrent que certains gènes spécifiques interviennent dans la différenciation des gonades indifférenciées en ovaires. • Cette différenciation fait intervenir différentes hormones produites par les gonades fœtales, mais aussi au cours de la puberté par le cerveau et les gonades (Œstrogènes, testostérone, organes producteurs, organes cibles, …).
Objectifs	**Des cas d'intersexuation existent.** *Sans entrer dans le détail, l'étude de cas d'intersexuation peuvent contribuer à l'éducation citoyenne des élèves.* • Le sexe biologique est un continuum entre deux extrêmes. Sur le plan biologique, il existe des cas d'intersexuation. • Ces cas d'intersexuations peuvent parfois s'expliquer par des anomalies chromosomiques, génétiques voire hormonales.

Cerveau, plaisir, sexualité	
Objectifs	**Le plaisir est cérébral. Il peut être expliqué par une composante biologique, neuroendocrinienne : l'existence d'un circuit de la récompense au niveau du cerveau.** • Le cerveau est organisé en aires cérébrales dont certaines sont associées au plaisir et au circuit de la récompense. • Des substances chimiques (neuromédiateurs) comme la dopamine interviennent dans cette sensation de plaisir. • Il peut être intéressant d'aborder le nerf pudendal (« nerf de la honte ») qui innerve le clitoris et le pénis. Ce nerf est constitué de fibres nerveuses sensitives et motrices et impliqué dans l'orgasme féminin.
	Ce plaisir cérébral peut être aussi expliqué par une composante psychoaffective et des aspects, socio-culturels. Il ne se limite pas à des aspects biologiques et chimiques. • Le plaisir ne se limite pas à des aspects biologiques et chimiques. • Il existe d'autres facteurs notamment psychologiques, et culturels intervenant dans le plaisir. *Des approches éducatives peuvent être davantage développées dans le cadre de l'EAS et/ou d'approches interdisciplinaires et transversales.*

Corps humain : Hormones et reproduction Humaine	
Objectifs	**La régulation du fonctionnement des appareils reproducteurs masculins et féminins fait intervenir des hormones produites par différents organes (Axe gonadotrope).** • Un dispositif neuroendocrinien faisant intervenir des cellules nerveuses productrices de neurohormones (GnRh, LH, FSH) localisées au niveau de l'hypothalamus et de l'hypophyse. • Ces neurohormones véhiculées par le sang agissent sur le fonctionnement des gonades dont l'activité notamment la production de gamètes et la production d'hormones est modifiée en réponse. • Les hormones endogènes produites par les gonades agissent en retour sur le cerveau dont sécrétoire de neurohormones sexuelles est à son tour modifiée. • On ne rentre pas dans les rétrocontrôles positifs et négatifs. • Certaines méthodes permettant d'aider les couples à procréer reposent elles aussi sur l'utilisation d'hormones permettant ou favorisant la fécondation et/ou la gestation.
	La compréhension des mécanismes de contrôle des fonctions de reproduction par les hormones sexuelles endogènes a permis de développer des méthodes de contraception régulière, de contraception d'urgence, de contragestion ou bien encore pour aider le traitement de l'infertilité et de la stérilité. • Ces dispositifs utilisent des hormones de synthèse exogènes qui leurrent notre système neuroendocrinien. • Ces molécules de synthèse exogènes présentent une structure comparable aux hormones endogènes, ce qui explique leur mode d'action.

Corps humain : Hormones et reproduction Humaine	
Objectifs	**Vivre sa sexualité expose les individus à différents risques (grossesses non désirées, IST).** **Il existe une diversité de méthodes adaptées qui permettent de les prévenir et réagir dans le cadre d'un accident.** • Certaines de ces méthodes (chimiques ou mécaniques) présentent une certaine efficacité pour prévenir les grossesses non désirées, mais ne le sont pas pour prévenir les IST. • Les IST ne se limitent pas au SIDA. D'autres IST existent et elles peuvent être transmises au cours de rapports sexuels sans pénétration. • Il existe des moyens de prévenir certaines IST notamment la vaccination. • La vaccination contre l'hépatite B peut être prise comme exemple. • Il peut être intéressant d'apprendre aux élèves à lire une analyse sanguine qui pourrait être réalisée dans le cas d'un test de dépistage. • Dans le cas de situations d'urgence (rupture de préservatif, rapport sexuel non protégé, certaines méthodes permettent de limiter le risque d'IST. • Il existe des lieux pour s'informer et être accompagné dans le choix de sa contraception ou dans le cas de situations d'urgence.

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

L'étude de la sexualité humaine est porteuse de nombreuses questions socialement vives (QSV) qui sont des possibilités d'entrées visant à donner du sens aux démarches scientifiques qui s'ensuivront. Pour autant « traiter » une question socialement vive n'est pas sans écueil : le risque étant de tendre vers des apports apparaissant comme moralisateurs ou normatifs. La problématisation s'avère ici un bon moyen d'envisager un ensemble de questionnements, d'opinions, de réflexion autour d'une QSV : en montrant la complexité (et en la catégorisant), les élèves distingueront mieux ce qui relève des réponses scientifiques, des réponses sociales, culturelles, etc.

C'est bien en problématisant ce qui relève de l'éducation à la sexualité que l'on construit plus efficacement une forme de responsabilisation des élèves. Il s'agira bien d'amener les élèves à reconnaître les différentes dimensions de la sexualité humaine, ainsi que d'analyser les relations à l'autre, d'y réfléchir.

Concernant la sexualité humaine, les différents aspects tels le sexe, l'identité sexuée, les rôles de sexe, l'orientation sexuelle, le plaisir, l'intimité, la transmission de la vie ont tous une dimension biologique, sociale (à différentes échelles) et culturelle. Autrement dit, réduire la fonction de reproduction à la biologie ou bien l'orientation sexuelle à la sociologie signifierait des approches simplistes. Une problématisation globale permettra d'éviter cet écueil.

Ainsi il est tout à fait possible d'entamer cette partie du programme par la question de la maîtrise de la reproduction.

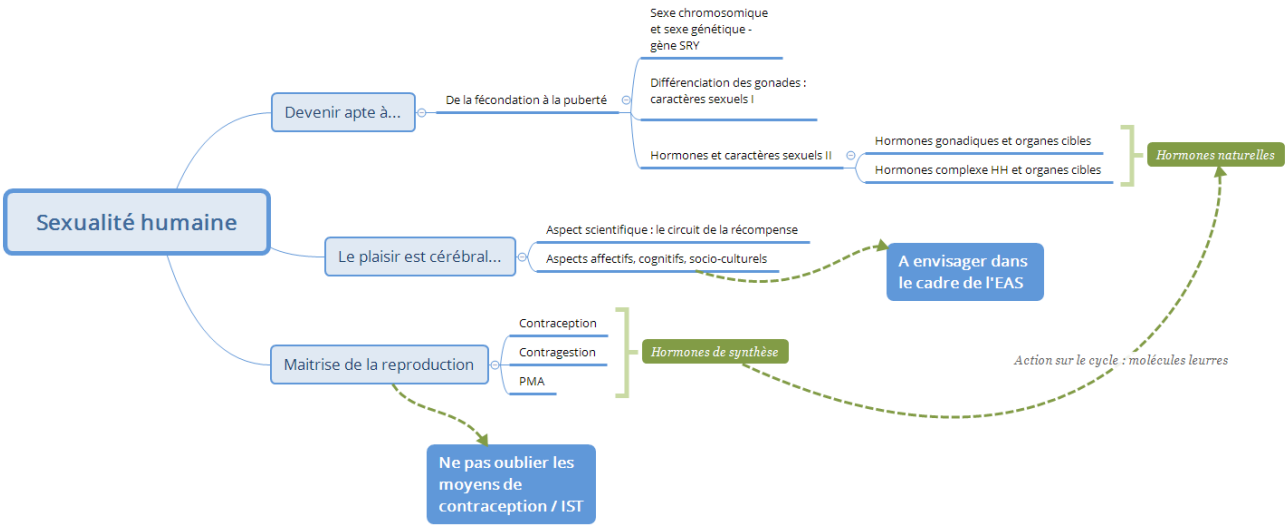
Le recours à la contraception d'urgence est fréquent chez les adolescentes et les jeunes femmes françaises (Baromètre santé 2010). Chez les 15-19 ans, 20,5 % l'ont utilisée au moins une fois dans les 12 mois précédant l'enquête de 2010 (14,6 % une fois et 5,9 % plusieurs). La vente de contraceptifs d'urgence tend à augmenter (+ 5,6 % entre janvier 2013 et avril 2014, par exemple). Par ailleurs, même si le taux de recours à l'IVG (Interruption volontaire de grossesse) est en légère en baisse chez les 15-17 ans, il reste élevé en Île-de-France (autour de 1 %).

Ces données sociales offrent la possibilité de questionner sur ce qu'est la contraception d'urgence en particulier. Que contient-elle ? Quelle est son efficacité ? Est-elle dangereuse ? Etc.

Ces questions permettront d'initier des stratégies de recherche, des démarches d'investigation.

Il existe bien d'autres pistes de problématisation. Il est également souhaitable d'adopter une approche positive et non anxiogène de la sexualité. L'étude du plaisir cérébral vient renforcer cette approche : l'éducation à la sexualité ne s'aborde pas qu'au travers du prisme « infections sexuellement transmissibles » et « grossesses à éviter ».

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique. La carte ci-dessous en est un exemple[5] :



Cliquer ici pour obtenir l'infographie en taille réelle

5. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.

Le point sur les enjeux de l'éducation à la sexualité

Qu'est-ce que l'éducation à la sexualité ?

L'École a, dans le cadre de sa mission éducative, une responsabilité propre vis-à-vis de la santé des élèves et de la préparation à leur future vie d'adulte. Son action est complémentaire du rôle premier joué par les familles dans la construction individuelle et sociale des enfants et des adolescents, dans l'apprentissage du « vivre ensemble ».

L'éducation à la sexualité, composante du parcours éducatif de santé et de l'éducation du citoyen, y contribue de manière spécifique, en lien avec les enseignements. Elle est une démarche éducative qui concerne à la fois :

- des questions de santé publique : grossesses précoces non désirées, infections sexuellement transmissibles, dont le VIH/sida ;
- la construction des relations entre les filles et les garçons et la promotion d'une culture de l'égalité ;
- des problématiques relatives aux violences sexuelles, à la pornographie ou encore à la lutte contre les préjugés sexistes ou homophobes.

L'éducation à la sexualité à l'École favorise un apprentissage de l'altérité, des règles sociales, des lois et des valeurs communes.

Source : infographie Éduscol.

Objectifs

L'estime de soi, le respect de l'autre, l'acceptation des différences, la compréhension et le respect de la loi, la responsabilité individuelle et collective, constituent des objectifs essentiels de cette démarche éducative. Les intervenants sont attentifs à poser les limites nécessaires entre l'espace public et l'espace privé afin que le respect des consciences, du droit à l'intimité et de la vie privée de chacun soit garanti.

Elle vise à :

- apporter aux élèves des informations objectives et des connaissances scientifiques ;
- permettre une meilleure perception des risques - grossesses précoces, infections sexuellement transmissibles, sida - et favoriser des comportements de prévention ;
- informer sur les ressources d'information, d'aide et de soutien dans et à l'extérieur de l'établissement.

Mais aussi à :

- faire connaître aux élèves les dimensions relationnelle, juridique, sociale et éthique de la sexualité ;
- accompagner leur réflexion sur le respect mutuel, le rapport à l'autre, l'égalité filles-garçons, les règles de vie en commun, le sens et le respect de la loi ;
- développer l'exercice de l'esprit critique, notamment par l'analyse des modèles et des rôles sociaux véhiculés par les médias.

L'éducation à la sexualité, au travers de la multiplicité des dimensions qu'elle prend en compte, participe au développement des compétences psychosociales définies par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) en 1993. Cette notion recouvre la capacité d'une personne à répondre avec efficacité aux exigences et aux épreuves de la vie quotidienne, à maintenir un état de bien-être mental, en adaptant un comportement approprié et positif, notamment dans les relations avec les autres

Source : Éduscol – Accompagner les personnels de l'éducation.

Le point sur le contrôle génétique de la différenciation des appareils reproducteurs.

Pourquoi la notion de sexe féminin par défaut ne tient plus ?

En 2006, l'équipe dirigée par la professeure Giovanna Camerino publie dans Nature Genetics les résultats d'une étude portant sur le cas de 4 frères au caryotype XX et ne présentant pas de translocation du gène SRY. Le modèle de différenciation des gonades établi jusque-là s'effondre alors : le seul gène SRY ne détermine pas à lui seul la différenciation testiculaire, et la différenciation des gonades en ovaires ne s'enclenche pas du fait de sa seule absence.

Depuis, les études ont été poursuivies, les connaissances ont progressé, rattrapant un retard qui semble être dû au fait que les études des mécanismes qui contrôlent la différenciation ovarienne n'intéressaient visiblement pas et que le modèle d'alors s'accordait parfaitement avec les représentations sexistes généralisées considérant le masculin comme étant à la fois la norme et le modèle à partir duquel on décrivait tous les processus se déroulant chez l'être humain. Le modèle actuel présente deux mécanismes totalement actifs, relevant de l'action de cascades géniques distinctes. À la lumière des connaissances dorénavant établies, la

différenciation par défaut des ovaires s'avère scientifiquement fausse.

La différenciation des cellules de la gonade bipotentielle en cellule ovarienne est sous le contrôle de deux voies principales : l'une régulée par Foxl2 et l'autre par Rspo1 et Wnt4. La différenciation en testicules est quant à elle contrôlée par l'action coordonnée de Sox9 et Fgf9. Cette voie de différenciation testiculaire est déclenchée par la présence du gène SRY.

Les cascades géniques ovariennes et testiculaires ont un double mécanisme d'action : les acteurs stimulent la différenciation de la gonade bipotentielle respectivement en ovaires ou en testicules, mais en plus ils inhibent simultanément la voie antagoniste. La différenciation de la gonade fœtale en testicule ou en ovaire dépend donc de la prépondérance de l'une ou l'autre des voies : on parle ainsi de « balance des sexes ».

En fonction du bagage génétique, des cascades géniques distinctes vont ainsi être initiées au sein des cellules des gonades bipotentielles :

- Dans la voie testiculaire, SRY déclenche l'expression du gène Sox9 qui va entraîner la différenciation testiculaire des cellules indifférenciées et bloquer celle qui aboutirait à des cellules ovariennes.
- Dans la voie ovarienne, plusieurs cascades vont être initiées induisant une différenciation en cellules ovariennes et empêchant l'entrée dans la voie de différenciation testiculaire. De nombreux chercheurs ont émis l'hypothèse d'un gène de détermination ovarienne (équivalent au gène SRY de la voie testiculaire), nommé « facteur Z », qui initierait et contrôlerait l'expression de Foxl2 et Rspo1 dans l'ébauche gonadique XX.

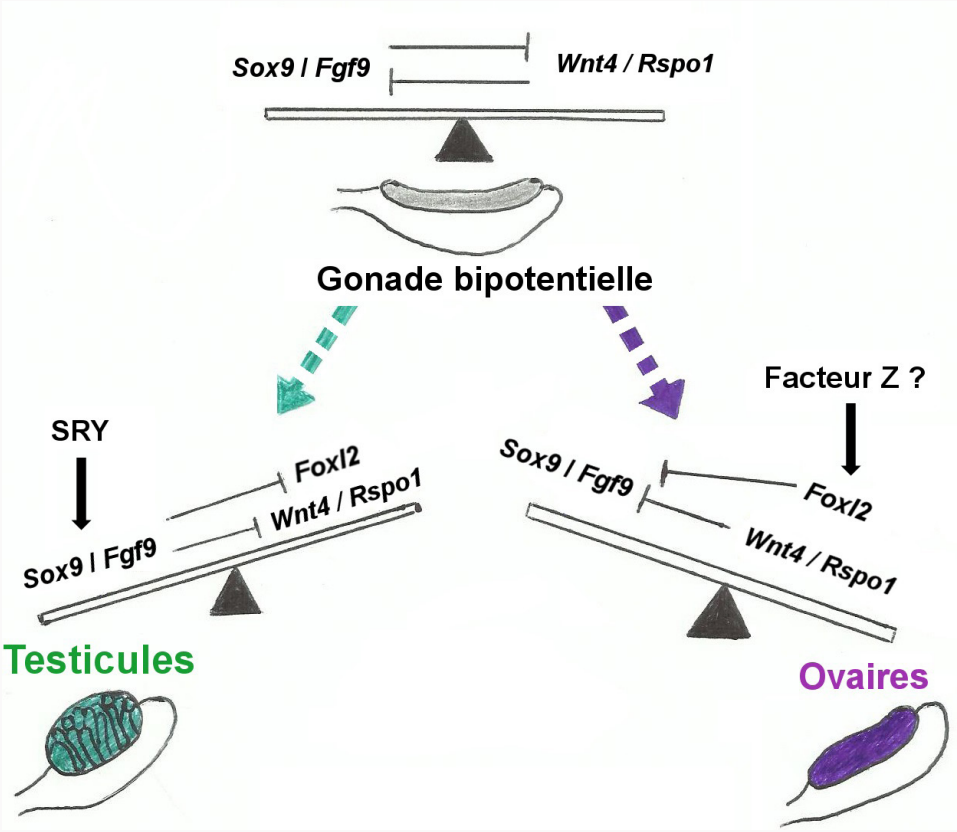


Figure 1 - A genetic model for sex determination, controlled by a balance of antagonistic pathways. In XY gonads, Sry triggers upregulation of Sox9, leading to Sertoli cell commitment and testicular differentiation. Sertoli cell differentiation is a result of the establishment of a positive feedback loop between Sox9 and secretion of Fgf9 (and also PGD_2; not shown), which act in a paracrine manner to recruit additional Sertoli cells. In XX gonads, two independent signaling pathways involving the Rspo1/Wnt4/β-catenin pathway and Foxl2 tilt the balance towards the female side and silence Sox9 and *Fgf*9. Arrows indicate stimulation; T bars indicate inhibition
Illustration réalisée d'après :
Nef and Vassalli, *Journal of Biology*, 2009,
Adrienne Baillet, Béatrice Mandon-Pépin, Reiner Veitia et Corinne Cotinot, « La différenciation ovarienne précoce et son contrôle génétique », *Biologie Aujourd'hui*, 205, 2011

Source : Extrait de « Déconstruire la notion de sexe par défaut » **écrit par : Alexandre Magot**

Sitographie – Bibliographie

Ressources scientifiques

- SVT-égalité : un site offrant des ressources pour travailler sur les stéréotypes sexuels et déconstruire la notion de sexe par défaut : la différenciation du sexe est généralement le lieu d'une description particulièrement androcentrée, c'est-à-dire prenant les mécanismes observés chez l'homme comme référence, et construisant pour la femme une notion de « sexe par défaut ».
- Santé publique France : fournit de nombreuses ressources (enquêtes épidémiologiques, risques sanitaires, promotion de la santé et prévention des risques,…).
- Un rapport produit par l'OMS : décrit le cadre de référence pour l'éducation sexuelle en Europe en direction des décideurs politiques, des autorités compétentes en matière d'éducation et de santé et les spécialistes (2010).
- Acces – ENS-Lyon : ressources scientifiques et pédagogiques sur la procréation et la sexualité.
- Planet-Vie – ENS Paris : ressources sur l'enseignement de la procréation et l'éducation à la sexualité.
- Muséum national d'histoire naturelle : le comportement sexuel chez les Bonobos et le système de récompense.
- Canopé : les bases neurologiques du comportement sexuel.
- Liste des associations agrées par l'Éducation nationale pour intervenir dans des activités éducatives.
- Une actualisation des connaissances sur les voies de la différenciation ovarienne et son contrôle génétique précoce longtemps considérée comme un processus passif, se mettant en place par défaut.

Ressources pédagogiques

- Éduscol - portail éducation à la sexualité.
- Éduscol - ressources thématiques sur l'éducation à la sexualité.
- Le crips : outils pédagogiques pour l'éducation pédagogique et affective auprès des jeunes :
- Sites de référence qui accompagnent les jeunes vers une sexualité positive et responsable. Ils abordent ce sujet de manière globale : prévention des IST, contraception, mais également vie affective, relations amoureuses, corps, violences, ... :
  - Choisir sa contraception
  - Sida info service
  - Info IST
  - Onsexprim
- Acces – ENS-Lyon : ressource pédagogique pour un traitement d'IRM anatomiques et fonctionnelles à l'aide du logiciel Eduanatomist permettant de déterminer les zones du cerveau impliquées dans une récompense de type monétaire ou érotique.
- Académie de Nice : application pour comprendre le principe d'une IRM : version en ligne ou version exécutable à télécharger.
- SNV Jussieu : visualiser des molécules en trois dimensions (contraceptifs, hormones, …).
- Académie de Dijon : une banque de schémas pour l'enseignement du thème.
- Canopé : des vidéos d'intérêts pédagogiques utilisables dans des dispositifs de classe accompagnée, inversée, renversées (Acquisition du phénotype sexuel, fonctionnement testiculaire, cycle ovarien et régulation, contraception, …).
- Éduscol : éducation aux médias et à l'information.

Retrouvez éduscol sur :

Annexe – Programme d'enseignement scientifique de première générale

Préambule

L'ensemble des disciplines scientifiques concourt à la compréhension du monde, de son organisation, de son fonctionnement et des lois qui le régissent. Elles permettent aussi de maîtriser les outils et les technologies imaginés et mis en œuvre par les êtres humains. L'histoire des sciences raconte une aventure de l'esprit humain, lancé dans une exploration du monde (la science pour savoir) et dans une action sur le monde (la science pour faire).
Le développement des sciences et des technologies a profondément modifié les conditions de vie des êtres humains et les sociétés dans lesquelles ils vivent. Cela s'est traduit par d'importants progrès, dans les domaines de l'alimentation, de la santé, de la communication, des transports, etc. Grâce à ses inventions, l'être humain a les moyens de transformer son environnement immédiat. Les activités humaines utilisent massivement des ressources naturelles et produisent des déchets. Elles peuvent modifier les équilibres à l'échelle de la planète (biodiversité, climat, etc.).
Par, notamment, l'approche scientifique, l'être humain dispose des outils intellectuels nécessaires pour devenir un acteur conscient et responsable de sa relation au monde et de la transformation des sociétés. L'approche scientifique nourrit le jugement critique et rencontre des préoccupations d'ordre éthique. Ainsi, c'est de façon rationnellement éclairée que chacun doit être en mesure de participer à la prise de décisions, individuelles et collectives, locales ou globales.
La science construit peu à peu un corpus de connaissances grâce à des méthodes spécifiques. Elle élabore un ensemble de théories, établit des lois, invente des concepts, découvre des mécanismes, effectue des mesures, analyse et traite des données, explique des processus, etc. ; cet ensemble se perfectionne par la confrontation à des faits nouvellement connus, souvent en lien avec l'évolution des techniques. Le savoir scientifique est une construction collective qui a une histoire. Il est fondé sur le raisonnement rationnel et la recherche de causes matérielles ; il se développe parfois en réfutation des intuitions premières au-delà desquelles la recherche doit s'aventurer.
La compréhension de l'histoire des savoirs scientifiques et de leur mode de construction, la pratique véritable d'une démarche scientifique (y compris dans sa dimension concrète) cultivent des qualités de l'esprit utiles à tous. Ainsi, en pratiquant la science, chacun fait croître ses connaissances, son intelligence, sa curiosité, sa raison, son habileté manuelle, son humilité devant les faits et les idées, pour enrichir son savoir.
Le but essentiel de l'enseignement scientifique dispensé dans le tronc commun de la filière générale du lycée est de donner une formation scientifique à tous les élèves, tout en offrant un solide ancrage à ceux qui poursuivent des études scientifiques. Il ne vise pas à construire un savoir encyclopédique, mais cherche plutôt à atteindre trois buts intimement liés :

- contribuer à faire de chaque élève une personne lucide, consciente de ce qu'elle est, de ce qu'est le monde et de ce qu'est sa relation au monde ;
- contribuer à faire des élèves des citoyens responsables, qui connaissent les conséquences de leurs actions sur le monde et disposent des outils nécessaires pour les analyser et les anticiper ;
- contribuer au développement en chaque élève d'un esprit rationnel, autonome et éclairé, capable d'exercer une analyse critique face aux fausses informations et aux rumeurs.

Programme

Pour atteindre les trois enjeux définis en préambule, ce programme précise, d'une part, des objectifs généraux de formation et présente, d'autre part, un ensemble d'objectifs thématiques dont les contenus sont largement interdisciplinaires.
Les objectifs généraux ont pour but d'aider les élèves à cerner la spécificité de la connaissance scientifique, dans ses pratiques, dans ses méthodes d'élaboration et dans ses enjeux de société. Les objectifs thématiques visent à consolider et à accroître la culture scientifique des élèves tout en leur fournissant les éléments d'une pratique autonome du raisonnement scientifique, dans des contextes variés.
Ces deux aspects sont complémentaires. Les professeurs décident comment satisfaire aux objectifs de formation générale en traitant les contenus d'au moins trois thèmes. Ils doivent veiller à respecter un juste équilibre entre ces deux composantes de l'enseignement.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Les objectifs généraux de formation et les suggestions pédagogiques qui suivent concernent les deux années du cycle terminal dont les programmes constituent un ensemble cohérent. Certaines thématiques aux enjeux particulièrement importants (biodiversité, énergie, climat) sont abordées dans les programmes des deux années du cycle terminal.

I — Objectifs généraux de formation

L'enseignement scientifique cherche à développer des compétences générales par la pratique de la réflexion scientifique. **Les objectifs ci-dessous énoncés constituent une dimension essentielle de l'enseignement scientifique et ne doivent pas être négligés au profit du seul descriptif thématique.** Ils sont regroupés autour de trois idées liées entre elles.

A — Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration

Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur la description et l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à comprendre et à expliquer la réalité par des causes matérielles.
Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. Une certitude raisonnable s'installe et se précise progressivement, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction.

B — Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques

Au cours de leur activité de production du savoir, les scientifiques mettent en œuvre un certain nombre de pratiques qui, si elles ne sont pas spécifiques à leur travail, en sont néanmoins des aspects incontournables.
Quelques mots-clés permettent de les présenter : observer, décrire, mesurer, quantifier, calculer, analyser, imaginer, proposer, tester, modéliser, simuler, raisonner, expliquer, créer des scénarios pour envisager des futurs possibles ou remonter dans le passé.
Cet enseignement contribue au développement des compétences langagières orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit, chaque fois que l'on met en œuvre une authentique pratique scientifique, de l'expliciter et de prendre conscience de sa nature.

C — Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement

Les sociétés modernes sont profondément transformées par la science et ses applications technologiques, dont les effets touchent l'alimentation (agriculture et agroalimentaire), la santé (médecine), les communications (transports, échanges d'informations), l'apprentissage et la réflexion (intelligence artificielle), la maîtrise des risques naturels et technologiques, la protection de l'environnement, etc.
La compréhension de ces transformations est indispensable à la prise de décision ; elle distingue l'approche purement scientifique d'autres approches (économiques, éthiques, etc.).
De même, les activités humaines exercent sur l'environnement des effets que la science permet de comprendre et de contrôler. Les conséquences de l'activité humaine sur l'environnement et les moyens mis en œuvre pour en limiter les effets seront particulièrement développés dans le programme de terminale.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit de faire comprendre en quoi la culture scientifique est aujourd'hui indispensable pour saisir l'évolution des sociétés, comme celle de l'environnement, et limiter les aspects négatifs de ces évolutions.
Cet enseignement peut être également mis en relation avec le programme d'enseignement moral et civique de la classe de première qui propose des objets d'étude en matière de bioéthique et de responsabilité environnementale.

II — Suggestions pédagogiques

Si les objectifs généraux ou thématiques sont clairement identifiés dans le programme, la manière de les atteindre relève de la liberté pédagogique de l'équipe de professeurs. Ce paragraphe ne limite nullement cette liberté pédagogique ni n'en canalise l'expression. Cependant, quelques principes pédagogiques généraux méritent d'être pris en compte pour atteindre les objectifs fixés.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

A — Un enseignement en prise avec le réel complexe

Le scientifique rend intelligible le monde en déchiffrant la réalité complexe, dont il extrait des éléments qu'il analyse et dont il élucide les interactions. Il est néanmoins opportun de saisir une ou des occasion(s) de montrer la complexité du réel lui-même. Une manière privilégiée de le faire consiste à travailler ponctuellement hors des murs de la classe ou de l'établissement (terrain, laboratoire, entreprise, musée, etc.).
La prise en compte de la complexité impose aussi le croisement des approches de plusieurs disciplines ce qui se traduit par le caractère interdisciplinaire de cet enseignement (y compris en dehors du champ scientifique).

B — Une place particulière pour les mathématiques

Selon Galilée, le grand livre de la Nature est écrit en langage mathématique. En effet, les modèles mathématiques aident à comprendre le monde. C'est dans cet esprit que les mathématiques trouvent leur place dans ce programme d'enseignement scientifique. De surcroît, l'omniprésence (quoique souvent invisible) des mathématiques dans la vie quotidienne (professionnelle et sociale) invite aujourd'hui tout individu à disposer de savoirs et de savoir-faire mathématiques. Le traitement des thèmes figurant au programme permet de présenter des méthodes, modèles et outils mathématiques qui visent à décrire et à expliquer la réalité complexe du monde, mais aussi à prédire ses évolutions. Parallèlement, le programme offre de nombreuses occasions de confronter les élèves à une pratique effective des mathématiques dans des contextes issus d'autres disciplines. Cette pratique leur permet à la fois de consolider, dans des contextes nouveaux, des compétences de calcul, de raisonnement logique et de représentation et d'exercer leur esprit critique en interrogeant les résultats d'un modèle mathématique.

C — Une place réservée à l'observation et l'expérience en laboratoire

Si des études documentaires, des expériences de pensée ou la résolution d'exercices permettent la mise en œuvre d'une démarche scientifique, la pratique expérimentale des élèves est essentielle. En particulier, il est bienvenu, chaque fois que possible, de créer les conditions permettant un travail de laboratoire fondé sur diverses formes de manipulations et d'observations. Ainsi, en se livrant à la confrontation entre faits et idées, l'élève comprend, en la pratiquant, la construction du savoir scientifique.

D — Une place importante pour l'histoire raisonnée des sciences

L'une des manières de comprendre comment se construit le savoir scientifique est de retracer le cheminement effectif de sa construction au cours de l'histoire des sciences. Il ne s'agit pas de donner à l'élève l'illusion qu'il trouve en quelques minutes ce qui a demandé le travail de nombreuses générations de chercheurs, mais plutôt, en se focalisant sur un petit nombre d'étapes bien choisies de l'histoire des sciences, de faire comprendre le rôle-clé joué par certaines découvertes et de replacer celles-ci dans le contexte sociétal de l'époque. Le rôle prépondérant de grandes figures de la science, dans l'histoire et dans le monde contemporain, sera souligné. Ce sera aussi l'occasion de montrer que les avancées majeures du savoir scientifique sont des aventures humaines. Cela permettra de poser la question de la dimension sociale et culturelle de la construction du savoir scientifique, en particulier celle de la place des femmes dans l'histoire des sciences. Des controverses agitent la communauté scientifique et conduisent à de nouvelles investigations et ainsi, peu à peu, le savoir progresse et se précise.

E — Un usage explicité des outils numériques

Des outils numériques variés trouvent des applications dans le cadre de l'enseignement scientifique : logiciels de calcul ou de simulation, environnements de programmation, logiciels tableurs, etc. Il convient d'associer leur utilisation par les élèves à la compréhension au moins élémentaire de leur nature et de leur fonctionnement.

III — Objectifs thématiques

La suite du programme se présente comme une succession de thèmes. Ces thèmes sont au service des trois grands objectifs de formation (*Comprendre la nature du savoir scientifique et ses modes d'élaboration*, *Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques*, *Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement*). Sa structure est explicitée ci-dessous.
Après une courte introduction, la rubrique *Objectifs* explicite, au-delà des savoirs et des savoir-faire, les lignes de force visées pour chaque thème étudié.
Une disposition en colonnes indique des savoirs et savoir-faire exigibles. Ce sont des objectifs précisément identifiés (notamment en vue de l'évaluation). Ils laissent au professeur ou à l'équipe de professeurs toute latitude pour construire la démarche. Cette double colonne indique les attendus spécifiques des thèmes. L'objectif de l'enseignement est à la fois de construire ces attendus, de former l'esprit et d'atteindre les objectifs généraux listés plus haut.
Des liens avec les mathématiques sont indiqués par une flèche double dans la colonne des savoir-faire. La double-flèche permet de mettre en avant les allers-retours entre situation contextualisée et formalisme mathématique. Il appartient au professeur de souligner ces aspects.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

Pour atteindre les deux objectifs (*Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration*, et *Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement*), la rubrique *Pistes de mise en œuvre du programme* propose des thématiques aptes à inspirer et aider le professeur. Elle ne contient aucun savoir ou savoir-faire exigible. Le professeur peut, dans le cadre de sa liberté pédagogique, choisir d'autres exemples pour travailler les deux objectifs précités. Cette rubrique est aussi l'occasion de suggérer des sujets de projets expérimentaux ; là encore, ce ne sont que des propositions qui visent à montrer que le projet expérimental et numérique peut, sans pour autant s'y restreindre, s'appuyer sur des thèmes du programme.

1 — Une longue histoire de la matière

Introduction et enjeux. La diversité de la matière dans l'Univers se décrit à partir d'un petit nombre de particules élémentaires dont l'organisation conduit à la formation d'unités de plus en plus complexes, depuis le *Big Bang* jusqu'au développement de la vie.

Objectifs. La connaissance de l'Univers oblige à observer et décrire à toutes les échelles de taille, d'espace et de temps.

La compréhension de l'Univers convoque des disciplines complémentaires et des approches multiples. Celle-ci est évolutive ; des théories sont proposées dans un contexte historique et scientifique précis ; elles peuvent être discutées, amendées et même réfutées dans le cadre d'une démarche scientifique.

Dans la complexification croissante de la matière, l'apparition de la vie est un évènement marquant. La singularité du vivant et donc la distinction entre le vivant et le non-vivant est d'importance fondamentale.

1.1 — Un niveau d'organisation : les éléments chimiques

Comment, à partir du seul élément hydrogène, la diversité des éléments chimiques est-elle apparue ? Aborder cette question nécessite de s'intéresser aux noyaux atomiques et à leurs transformations. Cela fournit l'occasion d'introduire un modèle mathématique d'évolution discrète.

Savoirs	Savoir-faire
Les noyaux des atomes de la centaine d'éléments chimiques stables résultent de réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles à partir de l'hydrogène initial. La matière connue de l'Univers est formée principalement d'hydrogène et d'hélium alors que la Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium, de magnésium et les êtres vivants de carbone, hydrogène, oxygène et azote.	Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques (proportions) dans l'Univers, la Terre, les êtres vivants. L'équation d'une réaction nucléaire stellaire étant fournie, reconnaître si celle-ci relève d'une fusion ou d'une fission. ↔ Tableaux croisés, représentations de données. ↔ Calcul algébrique.
Certains noyaux sont instables et se désintègrent (radioactivité). L'instant de désintégration d'un noyau radioactif individuel est aléatoire. La demi-vie d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée. Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif considéré.	Calculer le nombre de noyaux restants au bout de n demi-vies. Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie. Utiliser une décroissance radioactive pour une datation. Expliquer l'utilisation de noyaux radioactifs dans un contexte médical. Citer quelques précautions inhérentes à l'utilisation de substances radioactives. ↔ Phénomènes aléatoires. ↔ Lectures graphiques (résolution d'équations et d'inéquations, recherche d'images et d'antécédents). ↔ Suites géométriques à termes strictement positifs, décroissance exponentielle.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : Henri Becquerel, Marie Curie, la découverte de la radioactivité, du radium.

Histoire des sciences : de Fraunhofer à Bethe, les éléments dans les étoiles.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

La science face à une question : la masse manquante de l'Univers.

Sciences, société et environnement

Les enjeux de l'exploitation et de l'utilisation des terres rares.

Le projet ITER : un projet ambitieux dans le domaine de la recherche sur la fusion.

Les usages de la radioactivité et leurs liens avec la santé.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Exploiter des données permettant la datation d'un échantillon.

Simuler l'évolution d'une population de noyaux radioactifs.

1.2 — Des édifices ordonnés : les cristaux

L'organisation moléculaire étant déjà connue, ce thème aborde une autre forme d'organisation de la matière : l'état cristallin qui revêt une importance majeure, tant pour la connaissance de la nature — minéraux et roches, squelettes, etc. — que pour ses applications techniques. La compréhension de cette organisation fournit l'occasion de développer des compétences de représentation dans l'espace.

Savoirs	Savoir-faire
Le chlorure de sodium solide (présent dans les roches, ou issu de l'évaporation de l'eau de mer) est constitué d'un empilement régulier d'ions : c'est l'état cristallin. Plus généralement, la structure microscopique d'un cristal conditionne certaines de ses propriétés macroscopiques, notamment la masse volumique.	Utiliser une représentation en trois dimensions (3D) informatisée du cristal de chlorure de sodium. Relier l'organisation de la maille au niveau microscopique à la structure du cristal au niveau macroscopique. ↔ Représentation dans l'espace. Perspective cavalière. ↔ Grandeurs et mesures.
Un composé de formule chimique donnée peut cristalliser sous différents types de structures. Ainsi les minéraux se caractérisent par leur composition chimique et leur organisation cristalline. Une roche est formée de l'association de cristaux d'un même minéral ou de plusieurs minéraux. Des structures cristallines existent aussi dans les organismes biologiques (coquille, squelette, calcul, etc.).	Distinguer, en matière d'échelle et d'organisation spatiale, atome ou molécule, maille, cristal, minéral, roche. Identifier des structures cristallines sur un échantillon ou une image. Identifier des structures cristallines chez les êtres vivants. ↔ Grands nombres, petits nombres, puissances de 10.
Dans le cas des solides amorphes, l'empilement d'entités se fait sans ordre géométrique. C'est le cas du verre. Certaines roches volcaniques contiennent du verre, issu de la solidification très rapide d'une lave.	Mettre en relation la structure amorphe ou cristalline d'une roche et les conditions de son refroidissement.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : du cristal de chlorure de sodium aux ultrastructures cellulaires, le développement de la cristallographie.

Sciences, société et environnement

Les pseudosciences et les croyances en lien avec les cristaux.

Les risques sanitaires liés aux minéraux : le cas de l'amiante.

De la recherche des cristaux rares à leur exploitation irraisonnée.

L'utilisation des nanoparticules d'or pour traiter des cancers.

Les cristaux dans le domaine médical (les calculs) : composition, modalités de formation ; techniques de détection et d'élimination.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Identifier les paramètres qui influencent la croissance d'un cristal.

Utiliser les sons pour rompre les cristaux.

1.3 — Une structure complexe : la cellule vivante

Dans le monde, la matière s'organise en structure d'ordre supérieur à l'échelle moléculaire. Cette partie du programme se fixe comme objectif de montrer les caractéristiques essentielles de la vie par rapport au non-vivant.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

Un exemple est ici proposé : la cellule, unité fondamentale de la vie.	
Savoirs	**Savoir-faire**
La découverte de l'unité cellulaire est liée à l'invention du microscope. L'observation de structures semblables dans de très nombreux organismes a conduit à énoncer le concept général de cellule et à construire la théorie cellulaire. Plus récemment, l'invention du microscope électronique a permis l'exploration de l'intérieur de la cellule et la compréhension du lien entre échelle moléculaire et cellulaire.	Analyser et interpréter des documents historiques relatifs à la théorie cellulaire. Situer les ordres de grandeur : atome, molécule, organite, cellule, organisme. Relier l'échelle de la cellule, de ses organites et des molécules qui la constituent. ↔ Échelle, proportionnalité.
La cellule, unité fondamentale du vivant, est un milieu réactionnel aqueux séparé de l'extérieur par la membrane plasmique. Le fonctionnement cellulaire nécessite un apport en énergie, la cellule est donc en interaction permanente avec son environnement avec lequel elle réalise de nombreux échanges.	Mettre en évidence des échanges au travers de la membrane plasmique. Discuter du statut des virus : vivants ou non vivants. Relier la présence de molécules exogènes avec le bon fonctionnement cellulaire, mais également avec des dysfonctionnements.
Pistes de mise en œuvre du programme **Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration** Histoire des sciences : la construction de la notion de membrane plasmique. Histoire des sciences : la naissance de la biologie moléculaire, une synergie entre disciplines. Histoire des sciences : la découverte des virus. **Sciences, société et environnement** Des toxiques cellulaires présents dans l'environnement (protoxyde d'azote, alcool, solvants, métaux lourds, composés chimiques libérés par les cigarettes, etc.). Des êtres vivants pour dépolluer (bactéries, plantes, etc.). Reproduire ou modifier des fonctionnements cellulaires : la biologie de synthèse. Des questions de bioéthique : cellules souches, thérapie cellulaire, etc. **Exemples pour le projet expérimental et numérique** Clonage de cellules végétales. Plasmolyse et turgescence.	

2 — Le Soleil, notre source d'énergie

Introduction et enjeux. La Terre reçoit l'essentiel de son énergie du Soleil. Les variations géographiques et calendaires de la quantité d'énergie reçue conditionnent la température de surface de la Terre et déterminent climats et saisons. L'énergie transférée par le Soleil est indispensable au monde vivant. En effet, elle est à l'origine de plusieurs fonctions biologiques et de nombreuses sources d'énergie utilisables par l'être humain.

Objectifs. Cette partie permet de comprendre que la quantité d'énergie solaire qui est finalement reçue et absorbée à la surface du globe terrestre dépend de nombreux paramètres. La transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique par la photosynthèse est à l'origine des échanges d'énergie qui existent entre de nombreux êtres vivants, dont l'être humain, et leur environnement. La photosynthèse des temps passés est à l'origine des combustibles fossiles utilisés dans le temps présent. Leur usage massif depuis la révolution industrielle, et donc sur une période très courte au regard de la durée des périodes géologiques qui ont été nécessaires pour constituer ces énergies fossiles, constitue une part importante du déséquilibre contemporain qui existe entre la fixation du dioxyde de carbone atmosphérique et son rejet. L'un des enjeux des sources d'énergie renouvelables est d'utiliser de l'énergie solaire actuelle et non pas des sources d'énergie fossiles. Les sources d'énergie renouvelables liées à l'énergie solaire sont diversifiées et ne contribuent pas au réchauffement climatique.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

2.1 — Le rayonnement solaire

Le Soleil transmet à la Terre de l'énergie par rayonnement électromagnétique.

Savoirs	Savoir-faire
L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles les maintient à une température très élevée. Du fait de l'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein), ces réactions s'accompagnent d'une diminution de la masse solaire au cours du temps. Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et donc perdent de l'énergie par rayonnement. Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de corps noir) dépend seulement de la température de surface de l'étoile. Le spectre d'un corps noir est caractérisé par les propriétés suivantes : - La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température (loi de Wien). - La puissance émise par unité de surface est proportionnelle à la puissance quatrième de la température (loi de Stefan).	À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir à une température donnée, déterminer la longueur d'onde d'émission maximale. Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'un objet assimilé à un corps noir à partir de la longueur d'onde d'émission maximale. ↔ Grandeurs quotients, grandeurs et mesures, calcul algébrique, résolution d'équations. ↔ Représentation graphique. ↔ Proportionnalité. ↔ Calcul algébrique sur les puissances.
La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil. De ce fait, la puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend : - de l'heure (variation journalière) ; - du moment de l'année (variation saisonnière) ; - de la latitude (zonation climatique).	Sur un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface est maximale ou minimale. Analyser, interpréter et représenter graphiquement des données de températures. Calculer des moyennes temporelles de températures. Étudier des effets liés à l'exposition des êtres humains au rayonnement solaire. ↔ Représentation graphique. ↔ Grandeurs quotients, grandeurs et mesures, nombres relatifs. ↔ Calcul de moyennes. ↔ Géométrie.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : repères historiques sur l'étude du rayonnement thermique (Stefan, Boltzmann, Planck, Einstein).

Le devenir du Soleil : modèle d'évolution.

Sciences, société et environnement

Les conséquences de la captation directe de l'énergie solaire par les êtres humains et leurs effets sur la santé humaine.

L'analyse et l'exploitation des campagnes de santé publique de sensibilisation sur les dangers du Soleil et les mesures de protection possibles.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

La caméra thermique : un outil d'investigation précieux pour visualiser des champs de température surfaciques.

Étude du rayonnement solaire.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

2.2 — Le bilan radiatif terrestre

La Terre reçoit le rayonnement solaire et émet elle-même un rayonnement. Le bilan radiatif conditionne le milieu de vie. La compréhension de cet équilibre en classe de première permettra d'aborder sa perturbation par l'humanité en classe terminale.

Savoirs	Savoir-faire
La proportion de la puissance totale, émise par le Soleil et atteignant la Terre, est déterminée par son rayon et sa distance au Soleil. Une fraction de cette puissance, quantifiée par l'albédo terrestre moyen, est diffusée par la Terre vers l'espace, le reste est absorbé par l'atmosphère, les continents et les océans.	Calculer la proportion de la puissance émise par le Soleil qui atteint la Terre. L'albédo terrestre étant donné, déterminer la puissance totale reçue par la surface terrestre de la part du Soleil. ↔ Géométrie : calculs d'aires. ↔ Proportionnalité.
La surface terrestre émet un rayonnement électromagnétique dans le domaine infrarouge dont la puissance par unité de surface augmente avec la température. Une partie de cette puissance est absorbée par l'atmosphère, qui elle-même émet un rayonnement infrarouge vers l'espace et vers la surface terrestre (effet de serre). La puissance reçue par la surface terrestre en un lieu donné est égale à la somme de la puissance reçue du Soleil et de celle reçue de l'atmosphère. Ces deux dernières sont du même ordre de grandeur. Un équilibre, qualifié de dynamique, est atteint lorsque la surface terrestre reçoit au total une puissance moyenne égale à celle qu'il émet. La température moyenne de la surface terrestre est alors constante.	Commenter la courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde. Représenter sur un schéma les différents rayonnements reçus et émis par le sol. Expliquer qualitativement l'influence des différents facteurs (albédo, effet de serre) sur la température terrestre moyenne. ↔ Lectures graphiques. ↔ Grandeurs et mesures.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire récente des sciences : vers l'objectivation du constat d'une cause anthropique au réchauffement climatique.

Sciences, société et environnement

L'importance de la reconstitution de la couche d'ozone.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Approche expérimentale de l'effet de serre : étude critique et notion de modèle.

Impact de la fonte des glaces sur l'albédo terrestre : mesures quantitatives avec radiomètre.

2.3 — De la conversion biologique de l'énergie solaire par la photosynthèse à l'énergie nécessaire à tous les êtres vivants

L'utilisation par la photosynthèse d'une infime partie de l'énergie solaire reçue par la planète fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble des êtres vivants (à l'exception de certains milieux très spécifiques non évoqués dans ce programme).

Savoirs	Savoir-faire
L'utilisation par les organismes chlorophylliens d'une infime partie de l'énergie solaire reçue par la Terre, fournit l'énergie nécessaire à la synthèse de matière organique à partir de matière minérale (eau, ions, dioxyde de carbone) : c'est la photosynthèse. La photosynthèse permet la nutrition de presque toutes les formes de vie de la planète Terre. Les molécules organiques peuvent être transformées pour libérer l'énergie nécessaire au fonctionnement des	Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse. Utiliser des données quantitatives sur l'apport énergétique d'aliments dans un bilan d'énergie correspondant à des activités variées. Mettre en évidence des aspects qualitatifs de l'équilibre alimentaire. Relier des déséquilibres alimentaires à la prévalence

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

êtres vivants. L'alimentation apporte ces molécules organiques. L'équilibre alimentaire est un élément essentiel à une bonne santé.	mondiale de la dénutrition, des maladies cardiovasculaires, des diabètes, ou de l'obésité. ↔ Proportions, pourcentages. ↔ Grandeurs et mesures.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : repères historiques sur l'étude des pigments photosynthétiques permettant de capter l'énergie solaire (Pelletier, Caventou, Engelmann).

Histoire des sciences : les méthodes calorimétriques.

Les bases scientifiques des principes diététiques.

Sciences, société et environnement

Discuter de l'incidence du déclin d'organismes chlorophylliens comme ceux constituant le phytoplancton.

Discuter de différents comportements alimentaires et de leurs effets pour soi et pour la planète.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

La place de l'activité physique dans le bilan énergétique humain.

Thermorégulation chez les mammifères.

2.4 — Une diversité de sources d'énergie utilisables par l'Humanité

Une partie des sources d'énergie disponibles sur Terre ont pour origine le rayonnement solaire ; elles sont disponibles sous la forme de stocks et de flux, peuvent être, comme les combustibles fossiles, non renouvelables à l'échelle des temps de l'humanité ou, comme la biomasse, renouvelables.

Savoirs	Savoir-faire
De nombreuses sources ou flux d'énergie sont directement ou indirectement issus de l'énergie radiative transférée par le Soleil. La comparaison entre la durée de formation d'une source d'énergie et la durée prévisible d'épuisement de celle-ci en raison de son exploitation permet de distinguer une source d'énergie renouvelable d'une source d'énergie non renouvelable. Les combustibles fossiles se sont formés à partir de la matière organique produite par photosynthèse, il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. La biomasse est constituée de matière organique utilisable comme source d'énergie. L'énergie résultant de l'utilisation de la biomasse est principalement obtenue par combustion ou par fermentation.	Citer quelques sources d'énergie renouvelables et non renouvelables. Étudier des atouts et des limites liées à l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et non renouvelables. À partir de l'étude d'un combustible fossile ou d'une roche, débattre de l'origine (biologique ou non) des matériaux analysés. Comparer différents pouvoirs calorifiques par unité de masse suivant la nature de la biomasse. ↔ Grandeurs et mesures. Grandeurs quotients. ↔ Puissances de 10. ↔ Pourcentages.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences et techniques : évolution de l'utilisation des sources d'énergie renouvelables et non renouvelables au cours du temps.

Les réserves de combustibles fossiles : enjeux et incertitudes.

Sciences, société et environnement

Les enjeux liés au déclin du phytoplancton.

Analyse de discours sur l'énergie dans la société et analyse critique du vocabulaire d'usage courant : énergie « propre », énergie fossile, énergie renouvelable, source d'énergie, ressource énergétique, etc.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Évaluer le pouvoir calorifique d'une substance.

Optimiser le rendement d'une éolienne.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

3 — La Terre, un astre singulier

Introduction et enjeux. La Terre, singulière parmi un nombre gigantesque de planètes, est un objet d'étude ancien. Les évidences apparentes et les récits non scientifiques ont d'abord conduit à de premières représentations sur son origine et sa place dans l'Univers. La compréhension scientifique de sa forme, de son âge et de son mouvement résulte d'un long cheminement de la pensée scientifique.

Objectifs. La connaissance des caractéristiques de la Terre (rayon terrestre, forme et âge) s'est construite sur un temps très long, donnant lieu à plusieurs controverses. L'évolution des observations, des outils mathématiques et techniques a permis d'aboutir à un résultat stabilisé. Cette partie du programme donne l'occasion de distinguer un savoir scientifique d'une croyance.

3.1 — La forme de la Terre

L'environnement « plat » à notre échelle de perception cache la forme réelle de la Terre, dont la compréhension résulte d'un long processus. Au-delà de la dimension historique et culturelle, la mise en œuvre de différentes méthodes de calcul de longueurs à la surface de la Terre permet de développer des compétences mathématiques de calcul et de représentation, et invite à exercer un esprit critique sur les différents résultats obtenus, les approximations réalisées et les limites d'un modèle.

Savoirs	Savoir-faire
Dès l'Antiquité, des observations de différentes natures ont permis de conclure que la Terre était sphérique, alors même que, localement, elle apparaît plane dans la plupart des expériences quotidiennes. Historiquement, des méthodes géométriques ont permis de calculer la longueur d'un méridien à partir de mesures d'angles ou de longueurs : méthode d'Ératosthène et principe de triangulation plane de Delambre et Méchain.	Donner des preuves de la rotondité de la Terre de l'Antiquité à nos jours. Calculer la longueur du méridien terrestre par la méthode d'Ératosthène. Expliquer la méthode de triangulation utilisée par Delambre et Méchain. Calculer le rayon de la Terre à partir de la longueur du méridien. Calculer la distance à l'horizon à partir du rayon de la Terre. ↔ Calcul algébrique. ↔ Géométrie du cercle, du triangle et de la sphère. ↔ Théorème de Pythagore. ↔ Grandeurs quotients.
On repère un point à la surface de la Terre par deux coordonnées angulaires, sa latitude et sa longitude, et par son altitude par rapport à un niveau de référence. Le plus court chemin entre deux points à la surface de la Terre, assimilée à une sphère parfaite, est l'arc du grand cercle qui les relie.	Utiliser un système d'information géographique, pour comparer les longueurs de différents chemins reliant deux points à la surface de la Terre. ↔ Géométrie de la sphère.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : mesure du méridien terrestre par Ératosthène et les hypothèses d'Anaxagore.

Histoire des sciences : mesure du méridien terrestre par Delambre et Méchain.

Histoire des sciences : définition du mètre.

Sciences, société et environnement

Le repérage de la hauteur des océans en lien avec le réchauffement climatique.

Systèmes de localisation par satellite : usages et limites.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Sciences participatives : mesure de l'accélération de la pesanteur suivant la latitude.

Mesure d'une distance par triangulation.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

3.2 — L'histoire de l'âge de la Terre

L'âge de la Terre est d'un ordre de grandeur sans rapport avec la vie humaine. Sa compréhension progressive met en œuvre des arguments variés.

Savoirs	Savoir-faire
Au cours de l'histoire des sciences, plusieurs arguments ont été utilisés pour aboutir à la connaissance actuelle de l'âge de la Terre : temps de refroidissement, empilements sédimentaires, évolution biologique, radioactivité. Grâce à l'existence de certains noyaux radioactifs contenus dans les minéraux des roches, l'âge de la Terre est aujourd'hui précisément déterminé à $4{,}57.10^9$ ans.	Interpréter des documents présentant des arguments historiques utilisés pour comprendre l'âge de la Terre. Identifier diverses théories impliquées dans la controverse scientifique de l'âge de la Terre. ↔ Ordres de grandeur.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : quelques étapes de l'étude de l'âge de la Terre, Buffon, Darwin, Kelvin, Rutherford. Pluralité des démarches scientifiques.

La datation des météorites pour préciser l'âge de la Terre.

Sciences, société et environnement

Faits et croyances actuelles autour de l'origine et de l'âge de la Terre.

Exemple pour le projet expérimental et numérique

Refroidissement d'un corps.

3.3 — La Terre dans l'Univers

Le mouvement de la Terre dans l'Univers a été l'objet de célèbres et violentes controverses.

L'étude de quelques aspects de ces débats permet de comprendre la difficulté de la construction du savoir scientifique au sein d'une société.

Savoirs	Savoir-faire
Observée dans un référentiel fixe par rapport aux étoiles, la Terre parcourt une trajectoire quasi circulaire autour du Soleil. Le passage d'une conception géocentrique à une conception héliocentrique constitue l'une des controverses majeures de l'histoire des sciences.	Interpréter des documents présentant des arguments historiques pour discuter la théorie héliocentrique. ↔ Rotation.
Observée dans un référentiel géocentrique, la Lune tourne autour de la Terre sur une trajectoire quasi circulaire. Elle présente un aspect qui varie au cours de ce mouvement (phases). La Lune tourne également sur elle-même et présente toujours la même face à la Terre.	Interpréter l'aspect de la Lune dans le ciel en fonction de sa position par rapport à la Terre et au Soleil. ↔ Géométrie : cercle, sphère et disque ; rotation.
La puissance lumineuse émise par le Soleil et la distance au Soleil associée à la gravité de la Terre permettent à la Terre de conserver de l'eau liquide à sa surface. L'eau sur Terre est inégalement répartie dans l'espace, mais aussi dans le temps. Seule une faible partie des réserves hydriques est directement potable. La gestion des ressources hydriques et leur protection sont un enjeu pour l'humanité.	Étudier des données actuelles sur les exoplanètes en lien avec la zone d'habitabilité. Décrire la répartition de l'eau douce dans le monde. Estimer le volume d'une réserve d'eau douce à partir de données fournies. ↔ Proportionnalité. ↔ Grandeurs et mesures, puissances de 10, ordres de grandeur.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : les grandes étapes de la controverse sur l'organisation du système solaire : Ptolémée,

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Copernic, Galilée, Kepler, Tycho Brahe, Newton.

Histoire des sciences : la controverse sur l'origine de la Lune.

Sciences, société et environnement

Programme scientifique d'implantation sur la Lune.

Utilisation des ressources potentielles de la Lune.

Distinguer arguments scientifiques et croyances sur l'influence de la Lune.

Identifier les causes et les incidences du stress hydrique sur l'environnement et la santé humaine ainsi que les possibilités de l'atténuer.

La protection des ressources hydriques.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

Exploiter et/ou réaliser des observations astronomiques.

Rechercher des données relatives à un lien supposé entre l'influence de la Lune et un fait biologique.

Mesurer et suivre des ressources d'eau douce.

4 — Son, musique et audition

Introduction et enjeux. L'être humain perçoit le monde à l'aide de signaux, porteurs d'information, dont certains sont de nature sonore. De l'Antiquité jusqu'à nos jours, il a combiné les sons de manière harmonieuse pour en faire un art, la musique. L'informatique permet aujourd'hui de numériser les sons et la musique. Enfin, la compréhension des mécanismes auditifs s'inscrit dans une perspective d'éducation à la santé.

Objectifs. Cette partie est l'occasion de mettre l'accent sur certaines spécificités du son et de l'audition humaine : la régularité lorsqu'il devient musique, la non-linéarité de la sensation par rapport à la stimulation, la complexité au moment de sa numérisation et de son stockage. L'étude du système auditif humain permet d'éclairer l'élève sur le fonctionnement de l'oreille et les risques inhérents à une exposition excessive au bruit. Cette partie peut ouvrir sur le son en tant qu'outil d'investigation de la matière et de l'environnement ainsi que comme moyen de communication entre les êtres vivants.

4.1 — Son et musique

La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.

Savoirs	Savoir-faire
Un son pur est associé à un signal dépendant du temps de façon sinusoïdale. Un signal périodique de fréquence f se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples entières de f. Le son associé à ce signal est un son composé. f est appelé fréquence fondamentale, les autres fréquences sont appelées harmoniques. La puissance par unité de surface transportée par une onde sonore est quantifiée par son intensité. Son niveau d'intensité sonore est exprimé en décibels selon une échelle logarithmique.	Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son. Utiliser l'échelle logarithmique de niveau d'intensité sonore pour relier l'intensité sonore au niveau d'intensité sonore. ↔ Représentations graphiques. ↔ Grandeurs quotients. ↔ Calcul algébrique. ↔ Fonctions trigonométriques.
La corde tendue d'un instrument à cordes émet en vibrant un son composé dont la fréquence fondamentale ne dépend que de ses caractéristiques (longueur, tension, masse par unité de longueur). Dans les instruments à vent, un phénomène analogue se produit par vibration de l'air dans un tuyau. En musique, un intervalle entre deux sons est défini par le rapport de leurs fréquences fondamentales. Deux sons dont les fréquences sont dans le rapport 2/1 correspondent à une même note, à deux hauteurs différentes. L'intervalle qui les sépare s'appelle une	Relier qualitativement la fréquence fondamentale du signal émis aux caractéristiques d'une corde vibrante. Identifier deux notes à l'octave à l'aide de leur spectre. ↔ Grandeurs quotients. ↔ Puissances de 2.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

octave. Une gamme est une suite finie de notes réparties sur une octave.	

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Une controverse scientifique : le problème des cordes vibrantes entre d'Alembert, Euler et Daniel Bernoulli.

Histoire des sciences : analyse temps-fréquence depuis Fourier.

Histoire des sciences : les gammes de Pythagore à Bach.

Sciences, société et environnement

Les instruments et les musiques du monde.

Les principes de l'éco-acoustique pour étudier la biodiversité.

La production des sons chez les animaux.

Exemples pour le projet expérimental et numérique

La voie humaine : production et analyse.

Comparer les sons émis par différents instruments.

Enregistrer des ultrasons de la nature.

Identifier des espèces et des individus en analysant des spectres sonores.

4.2 — Le son, une information à coder

Le son, vibration de l'air, peut être enregistré sur un support informatique. Les techniques numériques ont mis en évidence un nouveau type de relations entre les sciences et les sons, le processus de numérisation dérivant lui-même de théories mathématiques et informatiques.

Savoirs	Savoir-faire
Pour numériser un son, on procède à la discrétisation du signal analogique sonore (échantillonnage et quantification). Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et la quantification est fine, plus la numérisation est fidèle, mais plus la taille du fichier audio est grande.	Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son. Estimer la taille d'un fichier audio. ↔ Grandeurs et mesures, puissances de 2.
La compression consiste à diminuer la taille d'un fichier afin de faciliter son stockage et sa transmission. Les techniques de compression spécifiques au son, dites « avec perte d'information », éliminent les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible. Une quantité énorme d'informations audio (et vidéo) est échangée, ce qui entraîne un développement important des capacités de stockage.	Calculer un taux de compression. Comparer des caractéristiques de fichiers audio compressés. Discuter de la problématique des échanges de fichiers numériques audio, mais aussi vidéo d'un point de vue énergétique. ↔ Grandeurs et mesures. ↔ Proportions, pourcentages.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : de l'analogique au numérique.

Sciences, société et environnement

L'obsolescence des supports de stockage de l'information.

Les enjeux écologiques de l'économie du numérique.

Exemple pour le projet expérimental et numérique

Numérisation d'un signal audio.

4.3 — Entendre et protéger son audition

L'air qui vibre n'est musique que parce que notre oreille l'entend et que notre cerveau la perçoit comme telle. Mais l'excès de sons, même s'il est musical, peut être à l'origine d'une altération de la fonction auditive. Protéger son

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

<table>
<tr><td colspan="2">audition est un enjeu majeur pour la santé.</td></tr>
<tr><td>Savoirs</td><td>Savoir-faire</td></tr>
<tr><td>L'être humain ne perçoit qu'une partie des sons supérieurs à une intensité seuil et dans une gamme de fréquences entre 20 et 20 000 Hz. Cette perception varie selon l'âge et l'état auditif.
L'oreille externe canalise les sons du milieu extérieur vers le tympan. Cette membrane vibrante transmet ces vibrations jusqu'à l'oreille interne par l'intermédiaire de l'oreille moyenne.
Dans l'oreille interne, des cellules ciliées traduisent les vibrations reçues en un message nerveux qui se propage vers des aires cérébrales spécialisées. Certaines permettent, après apprentissage, l'interprétation de l'univers sonore (parole, voix, musique, etc.).</td><td>Relier l'organisation de l'oreille externe et de l'oreille moyenne à la réception et la transmission de la vibration sonore.
Analyser des anomalies et pathologies auditives.
Interpréter des données de microscopie pour comprendre le fonctionnement des cellules ciliées et la fragilité du système auditif.
Interpréter des données d'imagerie cérébrale relatives au traitement de l'information sonore.</td></tr>
<tr><td>Au-delà de 80 dB, un son peut devenir nocif selon son intensité et sa durée d'écoute. Il en résulte des effets sur la santé.
Les cellules ciliées, en quantité limitée, sont fragiles et facilement endommagées par des sons trop intenses. Les dégâts peuvent alors être irréversibles et causer des problèmes auditifs, voire une surdité.
Des mesures d'atténuation du bruit ainsi que des dispositifs individuels de protection existent.
Grâce aux innovations technologiques, les appareils auditifs et les dispositifs de protection individuelle ne cessent d'évoluer.</td><td>Relier l'intensité du son et la durée d'écoute au risque encouru par l'oreille interne.
Mesurer le niveau d'intensité sonore perçu en fonction de la distance à la source avec ou sans dispositif de protection.
Exploiter des données épidémiologiques sur la santé auditive.
↔ Lectures graphiques.
↔ Organisation et exploitation de données.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pistes de mise en œuvre du programme
Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration
Histoire des sciences : l'évolution des appareillages auditifs et traitements, du cornet acoustique à l'implant cochléaire.
Méthodologie d'obtention des données épidémiologiques sur la santé auditive des jeunes.
Sciences, société et environnement
L'éducation à la santé et les comportements permettant de protéger son audition.
La caractérisation de la pollution sonore et les effets sur la santé et/ou sur les écosystèmes.
Les campagnes de prévention des risques liés aux bruits et textes législatifs. Les politiques publiques de limitation du bruit.
L'imagerie cérébrale fonctionnelle : apports et limites d'interprétation.
La langue des signes : histoire, sémiologie.
Exemples pour le projet expérimental et numérique
L'audiométrie.
Les casques antibruit et les appareils auditifs.
L'isolation phonique.
La comparaison de l'audition de l'être humain avec celle d'autres espèces animales.
L'utilisation des sons pour comprendre le monde : échographie médicale et industrielle.</td></tr>
</table>

5 — Projet expérimental et numérique

Le projet s'articule autour de la mesure et des données qu'elle produit, qui sont au cœur des sciences expérimentales. L'objectif est de confronter les élèves à la pratique d'une démarche scientifique expérimentale, de l'utilisation de matériels (capteurs et logiciels) ou de données expérimentales mises à disposition par des scientifiques à l'analyse critique des résultats.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

Selon le cas, le projet expérimental et numérique peut revêtir trois dimensions :
- utilisation d'un capteur éventuellement mis en œuvre en classe ;
- acquisition numérique de données ou utilisation de données expérimentales fournies par des scientifiques ;
- traitement mathématique, représentation et interprétation de ces données.

Selon les projets, l'une ou l'autre de ces dimensions peut être plus ou moins développée ; l'accent est mis sur la démarche de projet. L'objet d'étude peut être choisi librement, en lien avec le programme ou non. Il s'inscrit éventuellement dans le cadre d'un projet de classe ou d'établissement et peut relever des sciences participatives. Ce travail se déroule sur une douzaine d'heures, contiguës ou réparties au long de l'année. Il s'organise dans des conditions matérielles qui permettent un travail pratique effectif en petits groupes d'élèves.
La dimension numérique repose sur l'utilisation de matériels (capteur éventuellement associé à un microcontrôleur) et/ou de logiciels (tableur, environnement de programmation).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

Annexe

Programme de sciences de la vie et de la Terre de première générale

Sommaire

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

Mise en œuvre du programme

Le numérique et les SVT

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Compétences travaillées

Thématiques étudiées

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Enjeux contemporains de la planète

Corps humain et santé

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au lycée vise à dispenser une formation scientifique solide préparant à l'enseignement supérieur. Dans le prolongement du collège, il poursuit la formation civique des élèves. À partir de bases générales établies en seconde, les enseignements de spécialités de première et de terminale conduisent à des approfondissements, à des approches complémentaires et à des généralisations ainsi qu'à une pratique de méthodes et de raisonnements scientifiques plus aboutis. Discipline en prise avec l'évolution rapide des connaissances et des technologies, les SVT permettent à la fois la compréhension d'objets et de méthodes scientifiques et l'éducation en matière d'environnement, de santé, de sécurité, contribuant ainsi à la formation des futurs citoyens.

Dans ses programmes, la discipline porte trois objectifs majeurs :

- renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences et, plus généralement, assurer l'acquisition d'une culture scientifique assise sur les concepts fondamentaux de la biologie et de la géologie ;
- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation civique en appréhendant le monde actuel et son évolution dans une perspective scientifique ;
- préparer les élèves qui choisiront une formation scientifique à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur et, au-delà, aux métiers auxquels elle conduit.

Pour atteindre ces objectifs, les programmes de SVT du cycle terminal sont organisés en trois grandes thématiques (chacune déclinée en plusieurs thèmes) :

La Terre, la vie et l'évolution du vivant

La science construit, à partir de méthodes de recherche et d'analyse rigoureuses fondées sur l'observation de la Terre et du monde vivant, une explication cohérente de leur état, de leur fonctionnement et de leur histoire.

Enjeux contemporains de la planète

Les élèves appréhendent les grands enjeux auxquels l'humanité sera confrontée au XXIe siècle, ceux de l'environnement, du développement durable, de la gestion des ressources et des risques, etc. Pour cela, ils s'appuient sur les démarches scientifiques de la biologie et des géosciences.

Le corps humain et la santé

Les thèmes retenus permettent aux élèves de mieux appréhender le fonctionnement de leur organisme et de saisir comment la santé se définit aujourd'hui dans une approche globale intégrant l'individu dans son environnement et prenant en compte les enjeux de santé publique.

Dans ces trois thématiques, l'exercice de l'esprit critique est particulièrement nécessaire face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences.

Ces trois thématiques permettent également aux élèves de découvrir les métiers liés aux sciences fondamentales (recherche, enseignement), les métiers actuels ou émergents dans les sciences de l'environnement et du développement durable, en géosciences, en gestion des ressources et des risques, ainsi que les métiers liés aux domaines de la santé et du sport.

Comme tous les enseignements, cette spécialité contribue au développement des compétences orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre. Elle permet à chacun de faire évoluer sa pensée, jusqu'à la remettre en cause si nécessaire, pour accéder progressivement à la vérité par la preuve. Si ces considérations sont valables pour tous les élèves, elles prennent un relief particulier pour ceux qui choisiront de poursuivre cet enseignement de spécialité en terminale et qui ont à préparer l'épreuve orale terminale du baccalauréat. Il convient que les travaux proposés aux élèves y contribuent dès la classe de première.

Mise en œuvre du programme

Le programme est conçu pour laisser une large part à l'initiative du professeur et/ou de l'équipe disciplinaire, et ainsi préserver leur liberté pédagogique qui porte sur :

- les modalités didactiques ;
- l'ordre dans lequel seront étudiés les thèmes et introduites les notions ;
- les exemples choisis ;
- le degré d'approfondissement pour aborder tel ou tel sujet, tout en préservant la logique d'un traitement équilibré du programme.

Le programme détermine les connaissances et les capacités que les élèves doivent acquérir pour réussir dans leur poursuite d'études, quelle qu'elle soit. Les activités expérimentales occupent une place centrale en SVT : pour répondre à un problème scientifique, l'élève examine la validité d'une hypothèse par la mise au point d'un protocole ; il confronte les résultats de l'expérience aux attentes théoriques ou à un modèle. Les études et prélèvements sur le terrain favorisent les apprentissages : les élèves mettent en œuvre des stratégies d'observation, d'échantillonnage, de recueil de données, qu'ils peuvent ensuite traiter avec des outils d'analyse. Activités expérimentales et sorties favorisent l'éducation à la sécurité et aux risques par le respect des règles de sécurité indispensables.

Le numérique et les SVT

Les SVT requièrent l'usage des outils numériques généralistes (Internet, tableurs) et le recours à l'expérimentation assistée par ordinateur, qui peut se prolonger par l'exploitation de capteurs connectés à des microcontrôleurs programmables. Elles doivent aussi développer de nouvelles compétences numériques chez les élèves : l'usage des bases de données scientifiques, de systèmes d'informations géoscientifiques, de la modélisation numérique, de la programmation, des calculs quantitatifs, voire de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Ce sont autant de possibilités offertes aux lycéens de manipuler les outils actuels des sciences du vivant et de la Terre, qui leur ouvrent de nouvelles perspectives de formation, comme la bio-informatique ou l'exploitation de données.

Une formation scientifique développe les compétences d'analyse critique pour permettre aux élèves de vérifier les sources d'information et leur légitimité, puis de distinguer les informations fiables. Ces démarches sont particulièrement importantes en SVT, qui font souvent l'objet de publications « pseudo-scientifiques », voire idéologiques : les professeurs de SVT contribuent à l'éducation des élèves aux médias et à l'information par un travail régulier d'approche critique des informations.

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Les SVT intègrent naturellement dans leurs pratiques les acquis des autres disciplines scientifiques, en particulier la physique-chimie et l'informatique, et utilisent les concepts et outils mathématiques. Le programme mobilise les apports de ces disciplines dans d'autres contextes, au nom d'autres usages et d'autres intérêts. Une attention particulière doit être portée à la cohérence du vocabulaire scientifique employé d'une discipline à l'autre.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Compétences travaillées

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
Pratiquer des démarches scientifiques	- Formuler et résoudre une question ou un problème scientifique. Concevoir et mettre en œuvre des stratégies de résolution. Observer, questionner, formuler une hypothèse, en déduire ses conséquences testables ou vérifiables, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser, argumenter. Interpréter des résultats et en tirer des conclusions. Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique. Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes. Disséquer la complexité apparente des phénomènes observables en éléments et principes fondamentaux. Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique.
Concevoir, créer, réaliser	Identifier et choisir des notions, des outils et des techniques, ou des modèles simples pour mettre en œuvre une démarche scientifique. Concevoir et mettre en œuvre un protocole.
Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre	Apprendre à organiser son travail. Identifier et choisir les outils et les techniques pour garder trace de ses recherches (à l'oral et à l'écrit). Recenser, extraire, organiser et exploiter des informations à partir de documents en citant ses sources, à des fins de connaissance et pas seulement d'information. Coopérer et collaborer dans le cadre de démarches de projet.
Pratiquer des langages	Communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant. Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique. Utiliser des outils numériques. Conduire une recherche d'informations sur internet en lien avec une question ou un problème scientifique, en choisissant des mots-clés pertinents, et en évaluant la fiabilité des sources et la validité des résultats. Utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données.
Adopter un comportement éthique et responsable	Identifier les impacts (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles. Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement en prenant en compte des arguments scientifiques. Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé. Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Thématiques étudiées

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- **Transmission, variation et expression du patrimoine génétique**

L'étude s'appuie sur les connaissances acquises en collège et en classe de seconde sur la molécule d'ADN et les divisions cellulaires. Les élèves apprennent comment le matériel génétique est transmis lors de la multiplication cellulaire, d'une génération à l'autre et comment il s'exprime dans les cellules vivantes. La reproduction conforme et la variation génétique issue des mutations sont expliquées par l'étude de la réplication de l'ADN. Les mécanismes de transcription et de traduction de l'information génétique sont explicités jusqu'à leur aboutissement : la synthèse de molécules d'ARN et de protéines qui sont à la base du fonctionnement d'une cellule vivante.

Les divisions cellulaires des eucaryotes

Connaissances

Les chromosomes sont des structures universelles aux cellules eucaryotes (organismes dont les cellules ont un noyau). À chaque cycle de division cellulaire, chaque chromosome est dupliqué et donne un chromosome à deux chromatides, chacune transmise à une des deux cellules obtenues. C'est la base de la reproduction conforme.

Chez les eucaryotes, les chromosomes subissent une alternance de condensation-décondensation au cours du cycle cellulaire.

La division cellulaire mitotique est une reproduction conforme. Toutes les caractéristiques du caryotype de la cellule parentale (nombre et morphologie des chromosomes) sont conservées dans les deux cellules filles.

La méiose conduit à quatre cellules haploïdes, qui ont, chacune, la moitié des chromosomes de la cellule diploïde initiale.

Notions fondamentales *:* diploïde, haploïde, méiose, phases du cycle cellulaire eucaryote : G1, S (synthèse d'ADN), G2, mitose (division cellulaire), fuseau mitotique ou méiotique.

Capacités

- Réaliser et observer des préparations au microscope de cellules eucaryotes en cours de division, colorées de manière à faire apparaître les chromosomes.
- À partir d'images, réaliser des caryotypes à l'aide d'un logiciel et les analyser.
- Recenser, extraire et exploiter des informations permettant de caractériser les phases d'un cycle cellulaire eucaryote.

Précisions : le fuseau mitotique est évoqué mais une étude exhaustive n'est pas attendue. L'étude exhaustive des anomalies caryotypiques (aneuploïdies) n'est pas attendue. Les brassages génétiques inter et intra chromosomique sont étudiés en classe terminale.

La réplication de l'ADN

Connaissances

Chaque chromatide est constituée d'une longue molécule d'ADN associée à des protéines structurantes.

Au cours de la phase S, l'ADN subit la réplication semi-conservative. Il s'agit de la formation de deux copies qui, en observant les règles d'appariement des bases, conservent chacune la séquence des nucléotides de la molécule initiale. Ainsi, les deux cellules provenant par mitose d'une cellule initiale possèdent exactement la même information génétique. La

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

succession de mitoses produit un ensemble de cellules, toutes génétiquement identiques que l'on appelle un clone.

Notions fondamentales *:* réplication semi conservative, ADN polymérase, clone.

Objectifs : savoir comment relier l'échelle cellulaire (mitose, chromosomes) à l'échelle moléculaire (ADN).

Capacités

- Présenter une démarche historique sur l'identification ou la composition chimique des chromosomes.
- Calculer la longueur totale d'une molécule d'ADN dans un chromosome et de l'ensemble de l'ADN d'une cellule humaine ; comparer avec le diamètre d'une cellule. Calculer la longueur d'ADN de l'ensemble des cellules humaines.
- Exploiter les informations d'une expérience historique ayant permis de montrer que la réplication est un mécanisme semi-conservatif.
- Utiliser des logiciels ou analyser des documents permettant de comprendre le mécanisme de réplication semi-conservative.
- Observer des images montrant des molécules d'ADN en cours de réplication.
- Calculer la vitesse et la durée de réplication chez une bactérie (E. coli) et chez un eucaryote.
- Concevoir et/ou réaliser une réaction de PCR (amplification en chaîne par polymérase) en déterminant la durée de chaque étape du cycle de PCR. Calculer le nombre de copies obtenues après chaque cycle.

Précisions : les points suivants sont hors programme : machinerie enzymatique de synthèse des nucléotides et de réplication semi-conservative. Le détail des constituants des chromatides autre que l'ADN n'est pas attendu.

Mutations de l'ADN et variabilité génétique

Connaissances

Des erreurs peuvent se produire aléatoirement lors de la réplication de l'ADN. Leur fréquence est augmentée par l'action d'agents mutagènes. L'ADN peut également être endommagé en dehors de sa réplication.

Les mutations sont à l'origine de la diversité des allèles au cours du temps. Selon leur nature elles ont des effets variés sur le phénotype.

Les erreurs réplicatives et les altérations de l'ADN peuvent être réparées par des mécanismes spécialisés impliquant des enzymes. Si les réparations ne sont pas conformes, la mutation persiste à l'issue de la réplication et est transmise au moment de la division cellulaire.

Chez les animaux dont l'être humain, une mutation survient soit dans une cellule somatique (elle sera présente dans le clone issu de cette cellule) soit dans une cellule germinale (elle devient potentiellement héréditaire).

Notions fondamentales *:* allèles, mutations, nature et fréquence des mutations, mutations spontanées et induites, systèmes de réparation, ADN polymérase.

Objectifs : les élèves acquièrent des connaissances fondamentales sur la formation des mutations. La notion d'allèles s'applique à tout segment d'ADN codant ou non.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Concevoir et réaliser un protocole pour étudier l'action d'un agent mutagène (par exemple les UV) sur la survie des cellules et sur l'apparition de mutants. Quantifier.
- Recenser et exploiter des informations permettant de montrer l'influence d'agents mutagènes physiques (rayonnements) ou chimiques (molécules).
- Recenser et exploiter des informations permettant de caractériser des mutations.
- Recenser et exploiter des informations sur la diversité allélique au sein des populations (par exemple humaine).
- Recenser et exploiter des informations de recherche sur les génomes des trios (père, mère, enfant) afin de se faire une idée sur la fréquence et la nature des mutations spontanées chez l'être humain.
- Exploiter des bases de données pour mettre en relation des mutations et leurs effets.

Précisions : on distinguera les mutations spontanées de l'ADN des modifications introduites volontairement par génie génétique conduisant par exemple à la création d'OGM, aux thérapies géniques, etc.
L'action des agents mutagènes est étudiée à titre d'exemple mais le mécanisme n'est pas attendu. Aucune exhaustivité n'est attendue pour la présentation de ces agents. La liste des mutations possibles n'est pas attendue. Les mécanismes de réparation de l'ADN ne doivent pas être détaillés. Pour des expériences impliquant des micro-organismes, on respecte des protocoles stricts concernant à la fois la culture de micro-organismes et leur destruction systématique en fin de manipulation.

L'histoire humaine lue dans son génome

Connaissances

La diversité allélique entre les génomes humains individuels permet de les identifier et, par comparaison, de reconstituer leurs relations de parentés.

Grâce aux techniques modernes, on peut connaître les génomes d'êtres humains disparus à partir de restes fossiles. En les comparant aux génomes actuels, on peut ainsi reconstituer les principales étapes de l'histoire humaine récente.

Certaines variations génétiques résultent d'une sélection actuelle (tolérance au lactose, résistance à la haute altitude) ou passée (résistance à la peste).

Objectifs : les élèves apprennent que les génomes portent en eux-mêmes les traces de l'histoire de leurs ancêtres. Ces traces s'altèrent avec le temps mais permettent néanmoins de remonter à un grand nombre de générations.

Capacités

- Rechercher et exploiter des documents montrant comment a été déterminée la première séquence du génome humain.
- Explorer quelques stratégies et outils informatiques de comparaisons de séquences entre génomes individuels.
- Calculer le nombre de générations humaines successives en mille, dix mille et cent mille ans et en déduire le nombre théorique d'ancêtres de chacun d'entre nous à ces dates. Conclure.
- Rechercher et exploiter des documents sur les génomes de néandertaliens et/ou de denisoviens.
- Rechercher et exploiter des documents montrant l'existence d'allèles néandertaliens dans les génomes humains actuels.

Précisions : les divers composants d'un génome (gènes, pseudo gènes, éléments mobiles, séquences répétées, etc.) ne sont pas exigibles.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

L'expression du patrimoine génétique

Connaissances

La séquence de l'ADN, succession des quatre désoxyribonucléotides le long des brins de la molécule, est une information. Cette information est transmise de générations en générations. À chaque génération, cette information est exprimée par l'intermédiaire d'un autre acide nucléique : l'ARN. Les molécules d'ARN sont synthétisées par complémentarité des nucléotides à partir de l'ADN lors d'un processus dénommé transcription.

Chez les eucaryotes, la transcription a lieu dans le noyau et certains des ARN formés, après maturation éventuelle, sont exportés dans le cytoplasme. Parmi ceux-ci se trouvent les ARN messagers qui dirigent la synthèse de protéines lors d'un processus dénommé traduction.

Le code génétique est un système de correspondance, universel à l'ensemble du monde vivant, qui permet la traduction de l'ARN messager en protéines. L'information portée par une molécule d'ARN messager (le message génétique) est ainsi convertie en une information fonctionnelle (la séquence des acides aminés de la protéine).

Le phénotype résulte de l'ensemble des produits de l'ADN (protéines et ARN) présents dans la cellule. Il dépend du patrimoine génétique et de son expression. L'activité des gènes de la cellule est régulée sous l'influence de facteurs internes à l'organisme (développement) et externes (réponses aux conditions de l'environnement).

Notions fondamentales *:* transcription, traduction, pré-ARNm, ARNm, codon, riboses, génotype, phénotype.

Objectifs : les élèves relient un gène à ses produits (ARN et protéines) et comprennent ainsi que l'existence d'une étape intermédiaire (ARN) permet de nombreuses régulations. Ils appréhendent la différence essentielle entre information et code.

Capacités

- Calculer le nombre de combinaisons possibles de séquences de *n* nucléotides de longueur quand *n* grandit. Comparer à un code binaire utilisé en informatique.
- Calculer le nombre de combinaisons possibles de séquences de *n* acides aminés quand *n* grandit. Comparer au calcul réalisé pour l'ADN.
- Mener une démarche historique ou une étude documentaire sur le séquençage des macromolécules (protéines, ARN et ADN).
- Mener une démarche historique ou une étude documentaire permettant de comprendre comment les ARN messagers ont été découverts.
- Rechercher et exploiter des documents montrant la synthèse et la présence d'ARN dans différents types cellulaires ou dans différentes conditions expérimentales.
- Étudier les expériences historiques permettant de comprendre comment le code génétique a été élucidé.
- Concevoir un algorithme de traduction d'une séquence d'ARN et éventuellement le programmer dans un langage informatique (par exemple Python).
- Rechercher et exploiter des documents montrant la synthèse de protéines hétérologues après transgénèse (illustrant l'universalité du code génétique).
- Caractériser à l'aide d'un exemple les différentes échelles d'un phénotype (moléculaire, cellulaire, de l'organisme).

Précisions : les nombreuses catégories d'ARN, les processus de maturation des ARN, et les processus moléculaires de transcription et de traduction (avec les ARNt et ARNr) sont hors programme.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques

Connaissances

Les protéines enzymatiques sont des catalyseurs de réactions chimiques spécifiques dans le métabolisme d'une cellule.

La structure tridimensionnelle de l'enzyme lui permet d'interagir avec ses substrats et explique ses spécificités en termes de substrat et de réaction catalytique.

Notions fondamentales *:* catalyse, substrat, produit, spécificité.

Objectifs : il s'agit de montrer que les enzymes, issus de l'expression génétique d'une cellule, sont essentiels à la vie cellulaire et sont aussi des marqueurs de sa spécialisation.

Capacités

- Étudier les relations enzyme-substrat au niveau du site actif par un logiciel de modélisation moléculaire.
- Concevoir et réaliser des expériences utilisant des enzymes et permettant d'identifier leurs spécificités.
- Étudier des profils d'expression de cellules différenciées montrant leur équipement enzymatique.
- Étudier l'interaction enzyme-substrat en comparant les vitesses initiales des réactions et faisant varier soit la concentration en substrat ; soit en enzyme. Utiliser des tangentes à t_0 pour calculer la vitesse initiale.

Précisions : les caractéristiques de la cinétique enzymatiques, les compétitions au site actif ne sont pas attendues. Le contrôle de l'activité enzymatique par des effecteurs (exemples : T, pH) peut être utilisé par le professeur dans sa démarche mais n'est pas un attendu du programme.

- **La dynamique interne de la Terre**

Les élèves découvrent le fonctionnement interne actuel de la Terre, une planète active. Ils apprennent comment les méthodes des géosciences permettent de construire une approche scientifique de la dynamique terrestre. C'est aussi l'occasion pour eux de s'approprier les ordres de grandeur des objets (échelles de temps, échelle de taille) et des mécanismes de la géologie, en mobilisant différents objets géologiques, de la roche au globe terrestre.

La structure du globe terrestre

Des contrastes entre les continents et les océans

Connaissances

La distribution bimodale des altitudes observée entre continents et le fond des océans reflète un contraste géologique, qui se retrouve dans la nature des roches et leur densité.

Si la composition de la croûte continentale présente une certaine hétérogénéité visible en surface (roches magmatiques, sédimentaires, métamorphiques), une étude en profondeur révèle que les granites en sont les roches les plus représentatives.

Objectifs : par la découverte des deux croûtes, les élèves acquièrent les données fondamentales sur les principales roches rencontrées (basalte, gabbro, granites).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Mettre en relation des cartes et/ou des logiciels de visualisation des reliefs avec la courbe de distribution bimodale.
- Utiliser des cartes géologiques (carte géologique mondiale) comme des données d'observation directe (faille VEMA, forages) pour identifier les compositions des croûtes océaniques et continentales.
- Utiliser la carte de France au millionième pour identifier la répartition des principaux types de roches sur le territoire.
- Effectuer des mesures de densité sur des roches continentales et océaniques.
- Mener une observation comparative des roches des croûtes océanique et continentale (composition, structure, etc.).

Précisions : les différences de relief ne sont pas, à ce niveau, expliquées par les mécanismes de l'isostasie. L'étude pétrographique se limite à l'étude des principales caractéristiques des roches citées.

L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre

Connaissances

Un séisme résulte de la libération brutale d'énergie lors de rupture de roches soumises à des contraintes.

Les informations tirées du trajet et de la vitesse des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne de la Terre (croûte – manteau – noyau ; modèle sismique PREM [Preliminary Reference Earth Model], comportement mécanique du manteau permettant de distinguer lithosphère et asthénosphère ; état du noyau externe liquide et du noyau interne solide).

Les études sismologiques montrent les différences d'épaisseur entre la lithosphère océanique et la lithosphère continentale.

L'étude des séismes au voisinage des fosses océaniques permet de différencier le comportement d'une lithosphère cassante par rapport à une asthénosphère plus ductile.

La température interne de la Terre croît avec la profondeur (gradient géothermique). Le profil d'évolution de la température interne présente des différences suivant les enveloppes internes de la Terre, liées aux modes de transfert thermique : la conduction et la convection. Le manteau terrestre est animé de mouvements de convection, mécanisme efficace de transfert thermique.

La propagation des ondes sismiques dans la Terre révèle des anomalies de vitesse par rapport au modèle PREM. Elles sont interprétées comme des hétérogénéités thermiques au sein du manteau.

Notions fondamentales : contraintes, transmission des ondes sismiques, failles, réflexion, réfraction, zones d'ombre.

Objectifs : l'étude sismologique permet ici d'affiner la compréhension de la structure du globe terrestre et de la lithosphère au-delà de la vision du risque sismique appréhendé par les élèves au collège.
Grâce au croisement de différentes méthodes, les élèves accèdent à la connaissance de la structure thermique du globe de manière à pouvoir mobiliser ensuite les données thermiques dans l'explication de mécanismes géologiques étudiés.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Consulter et exploiter une base de données sismologiques.
- Traiter des données sismologiques.
- Concevoir une modélisation analogique et réaliser des mesures à l'aide de dispositifs d'expérimentation assisté par ordinateur, ou des microcontrôleurs pour étudier la propagation d'ondes à travers des matériaux de nature pétrographique différente ou de comportement mécanique différent.
- Étudier par expérimentation assistée par ordinateur et/ou par modélisation analogique les paramètres à l'origine des modifications de la vitesse des ondes (nature du matériau, de sa rigidité/plasticité, effet de la température).
- Étudier la propagation profonde des ondes (zone d'ombre, mise en évidence des discontinuités) en utilisant les lois de Snell-Descartes et/ou mettant en œuvre un modèle analogique pour montrer les zones d'ombre.
- Utiliser des profils de vitesse et de densité du modèle PREM.
- Analyser des courbes d'augmentation de la température en fonction de la profondeur (mines, forages) ; croiser des données thermiques, des données de composition chimique, avec les données sismiques pour comprendre le modèle de la structure thermique de la Terre.
- Calculer la température au centre de la Terre en utilisant le gradient géothermique de surface et apprécier sa validité au regard de l'état physique des matériaux.
- Réaliser des modèles analogiques pour appréhender la conduction et la convection.
- Montrer l'existence d'hétérogénéités thermiques dans le manteau par des données de tomographies sismiques, tout en attirant l'attention sur l'amplitude des variations par rapport au modèle PREM.

Précisions : les caractéristiques d'un séisme sont dégagées à partir de l'étude de cas concrets et en utilisant des outils numériques enrichissant les possibilités d'analyse par les élèves. La connaissance des mécanismes au foyer n'est pas attendue.

La dynamique de la lithosphère

La caractérisation de la mobilité horizontale

Connaissances

La lithosphère terrestre est découpée en plaques animées de mouvements**.** Le mouvement des plaques, dans le passé et actuellement, peut être quantifié par différentes méthodes géologiques : études des anomalies magnétiques, mesures géodésiques, détermination de l'âge des roches par rapport à la dorsale, alignements volcaniques liés aux points chauds.

La distinction de l'ensemble des indices géologiques et les mesures actuelles permettent d'identifier des zones de divergence et des zones de convergence aux caractéristiques géologiques différentes (marqueurs sismologiques, thermiques, pétrologique).

Capacités

- Identifier en utilisant des données sismiques les plaques lithosphériques.
- Analyser des bases de données de vitesse de déplacement (mesure laser, mesures GPS).
- Analyser et mettre en relation le flux géothermique surfacique et le contexte géodynamique à partir de cartes des flux géothermiques surfaciques.
- Étudier des données magnétiques ou sédimentaires permettant d'établir la divergence de part et d'autre de la dorsale.
- Étude de données sur les dorsales (bathymétrie, forages, etc.).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

La dynamique des zones de divergence

Connaissances

La divergence des plaques de part et d'autre des dorsales permet la mise en place d'une nouvelle lithosphère.

Celle-ci se met en place par apport de magmas mantelliques à l'origine d'une nouvelle croûte océanique. Ce magmatisme à l'aplomb des dorsales s'explique par la décompression du manteau.

Dans certaines dorsales (dorsales lentes) l'activité magmatique est plus réduite et la divergence met directement à l'affleurement des zones du manteau.

La nouvelle lithosphère formée se refroidit en s'éloignant de l'axe et s'épaissit. Cet épaississement induit une augmentation progressive de la densité de la lithosphère.

La croûte océanique et les niveaux superficiels du manteau sont le siège d'une circulation d'eau qui modifie les minéraux.

Capacités

- Études de l'affleurement à la roche des basaltes/gabbros/péridotites et leurs équivalents hydratés (serpentinite, gabbros à hornblende, etc.).
- Calcul de la densité moyenne de l'ensemble croûte – manteau lithosphérique en fonction de son épaisseur, puis de son âge en utilisant une loi empirique reliant épaisseur et âge.

La dynamique des zones de convergence

- **Les zones de subduction**

Connaissances

La lithosphère océanique plonge en profondeur au niveau d'une zone de subduction.

Les zones de subduction sont le siège d'un magmatisme sur la plaque chevauchante.

Le volcanisme est de type explosif : les roches mises en place montrent une diversité pétrologique mais leur minéralogie atteste toujours de magmas riches en eau.

Ces magmas sont issus de la fusion partielle du coin de manteau situé sous la plaque chevauchante ; ils peuvent s'exprimer en surface ou peuvent cristalliser en profondeur, sous forme de massifs plutoniques. Ils peuvent subir des modifications lors de leur ascension, ce qui explique la diversité des roches.

La fusion partielle des péridotites est favorisée par l'hydratation du coin de manteau.

Les fluides hydratant le coin de manteau sont apportés par des transformations minéralogiques affectant le panneau en subduction, dont une partie a été hydratée au niveau des zones de dorsales.

La mobilité des plaques lithosphériques résulte de phénomènes de convection impliquant les plaques elles-mêmes et l'ensemble du manteau.

L'augmentation de la densité de la lithosphère constitue un facteur important contrôlant la subduction et, par suite, les mouvements descendants de la convection. Ceux-ci participent à leur tour à la mise en place des mouvements ascendants.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Analyser les résultats de différentes méthodes pour identifier le plan de Wadati-Benioff.
- Relier la minéralogie des roches (présence de minéraux hydroxylés) mises en place (andésite, rhyolite, granites) et l'état d'hydratation du magma.
- Utiliser le diagramme de phases des péridotites pour montrer les effets de l'hydratation.
- Comparer la minéralogie d'échantillons illustrant la déshydratation de la lithosphère (schiste bleu ; éclogite).
- Discuter les relations entre vitesse d'accrétion et pourcentage de subduction aux frontières de plaques.
- En considérant la densité moyenne de la lithosphère et celle de l'asthénosphère, déterminer l'épaisseur et l'âge de la lithosphère qui induiraient un déséquilibre gravitaire. Confronter les valeurs aux situations réellement observées.

- **Les zones de collision**

Connaissances

L'affrontement de lithosphère de même densité conduit à un épaississement crustal. L'épaisseur de la croûte résulte d'un raccourcissement et d'un empilement des matériaux lithosphériques.

Raccourcissement et empilement sont attestés par un ensemble de structures tectoniques déformant les roches (plis, failles, chevauchements, nappes de charriage).

Capacités

- Recenser, extraire et organiser des données de terrain entre autres lors d'une sortie.
- Observer les profils ECORS (Étude de la Croûte Continentale et Océanique par Réflexion Sismique).
- Repérer à différentes échelles, des indices simples de modifications tectoniques, du raccourcissement et de l'empilement (par exemple avec des données sur la chaîne himalayenne).

Pour l'ensemble du thème « La dynamique de la lithosphère »

Notions fondamentales *:* morphologie d'une dorsale et d'une zone de subduction, failles normales et inverses, remontée asthénosphérique, magmatisme et roches associées, hydrothermalisme, augmentation de densité, panneau plongeant, fusion partielle, déformation, plis, chevauchement.

Objectifs : dans un premier temps, les élèves remobilisent leurs acquis du collège pour préciser et quantifier les mouvements des plaques lithosphériques en croisant différentes méthodes. Ainsi, ils appréhendent mieux les ordres de grandeurs (vitesse) de la dynamique lithosphérique. Ensuite, s'appuyant sur différents faits géologiques, ils découvrent les principaux phénomènes de la dynamique terrestre. Pour l'étude de marqueurs de la collision, des exemples pourront être pris dans toute chaîne active ou récente (Alpes, Pyrénées et Himalaya). Dans cette partie, les élèves trouvent aussi une explication à la formation des types de roches qu'ils ont identifiés dans la première partie.

Précisions : on n'attend ni une interprétation des inversions magnétiques, ni une étude exhaustive des roches de zones de subduction.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Enjeux contemporains de la planète

- **Écosystèmes et services environnementaux**

Trois enjeux sont abordés dans cette partie d'écologie, où les élèves saisissent le contexte des politiques de préservation de la biodiversité en crise :

- un enjeu de connaissance, avec l'étude de la notion d'écosystème à partir d'exemples. Dans la progression ici proposée, les élèves apprennent d'abord à décrire le système puis à distinguer les mécanismes fonctionnels et la dynamique spatio-temporelle, notamment actuelle ;
- un enjeu de capacité, avec l'apport de la démarche scientifique à la compréhension des changements écologiques actuels et des tentatives d'y remédier ;
- un enjeu d'attitude : l'espèce humaine est repositionnée comme un élément des écosystèmes, en interdépendance avec son environnement.

Ce thème peut être traité par le prisme des écosystèmes forestiers (tempérés voire équatoriaux), bons exemples pour étudier l'organisation et la dynamique des écosystèmes, comme les menaces et les enjeux de gestion dont ils sont l'objet.

Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et entre eux et leur milieu

Connaissances

Les écosystèmes sont constitués par des communautés d'êtres vivants (biocénose) interagissant au sein de leur milieu de vie (biotope).

La biocénose est en interaction avec le biotope (répartition des espèces selon les conditions abiotiques). La diversité des interactions biotiques s'étudie à la lueur de leur effet sur la valeur sélective des partenaires : compétition (pour la lumière, pour l'eau, les nutriments, etc.), exploitation (prédation, parasitisme) et coopération (mutualisme, dont symbiose).

Ces interactions structurent l'organisation (biodiversité de l'écosystème), l'évolution (dynamique des populations) et le fonctionnement de l'écosystème (production, flux de matière et réservoirs, recyclage de la matière organique, etc.).

En particulier, les êtres vivants génèrent ou facilitent des flux de matière (eau, carbone, azote, etc.) qui entrent (absorption racinaire, photosynthèse, respiration), circulent (réseau trophique) et sortent (évapotranspiration, érosion) de l'écosystème. Une partie de la matière est recyclée, notamment grâce au sol. L'effet des écosystèmes dans les cycles géochimiques ainsi constitués, se mesure par des bilans d'entrée/sortie de matière.

Même sans l'action de l'Homme, les écosystèmes montrent une dynamique spatio-temporelle avec des perturbations (incendies, maladies) affectant les populations. La complexité du réseau d'interactions et la diversité fonctionnelle favorisent la résilience des écosystèmes, qui jusqu'à un certain seuil de perturbation, est la capacité de retrouver un état initial après perturbation.

Un écosystème se caractérise donc par un équilibre dynamique susceptible d'être bousculé par des facteurs internes et externes.

Objectifs *:* les élèves comprennent la complexité d'un système écologique, en caractérisent l'organisation (frontière, élément, flux, interactions). Ils apprennent qu'il n'y a pas d'équilibre stable des écosystèmes mais des équilibres dynamiques susceptibles d'être bousculés (perturbation, résilience, perturbation irréversible).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Extraire et organiser des informations, issues de l'observation directe sur le terrain, pour savoir décrire les éléments et les interactions au sein d'un système. Comprendre l'importance de la reproductibilité des protocoles d'échantillonnage pour suivre la dynamique spatio-temporelle d'un système.
- Utiliser des outils simples d'échantillonnage pour mettre en évidence la répartition de certaines espèces en fonction des conditions du milieu.
- Décrire à l'aide d'observations et de préparations microscopiques et d'expériences les modalités de certaines interactions (exemple : symbiose mycorhizienne, parasitisme avec une galle sur une feuille, etc.).
- Savoir représenter un réseau d'interactions biotiques afin de mettre en évidence sa structure (liens) et sa richesse.
- Mesurer la biomasse et la production d'un écosystème à différents niveaux du réseau trophique.
- Construire un cycle biogéochimique simplifié avec ces réservoirs et ces flux (on recommande le carbone) dans lequel l'écosystème intervient. Calculer un bilan de matière, considérant l'écosystème comme ouvert.

Précisions : l'étude des agrosystèmes et des sols a été traitée en seconde. Il ne s'agit pas dans cette partie de faire un catalogue exhaustif des écosystèmes (structure et fonctionnement) mais, à partir d'un exemple observable, d'appréhender la diversité des interactions dans un écosystème et leurs effets sur sa dynamique. On relie aussi la diversité fonctionnelle d'un écosystème à la diversité spécifique/génétique, garante de cette diversité fonctionnelle.

L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques et leur gestion

Connaissances

L'espèce humaine est un élément parmi d'autres de tous les écosystèmes qu'elle a colonisés. Elle y vit en interaction avec d'autres espèces (parasites, commensales, domestiquées, exploitées).

L'espèce humaine affecte le fonctionnement de la plupart des écosystèmes en exploitant des ressources (forestières par exemple), en modifiant le biotope local (sylviculture, érosion des sols) ou global (changement climatique, introduction d'espèces invasives).

Beaucoup d'écosystèmes mondiaux sont impactés, avec une perte mondiale de biodiversité et des conséquences néfastes pour les activités humaines (diminution de la production, pollution des eaux, développement de maladies, etc.).

Pourtant, l'humanité tire un grand bénéfice de fonctions assurées gratuitement par les écosystèmes : ce sont les services écosystémiques d'approvisionnement (bois, champignons, pollinisation, fruits et graines, etc.), de régulation (dépollution de l'eau et de l'air, lutte contre l'érosion, les ravageurs et les maladies, recyclage de matière organique, fixation de carbone, etc.) et de culture (récréation, valeur patrimoniale, etc.).

Notre santé dépend en particulier de celle des écosystèmes qui nous environnent.

La connaissance scientifique des écosystèmes (l'écologie) peut permettre une gestion rationnelle des ressources exploitables, assurant à la fois l'activité économique et un maintien des services écosystémiques.

L'ingénierie écologique est l'ensemble des techniques qui visent à manipuler, modifier, exploiter ou réparer les écosystèmes afin d'en tirer durablement le maximum de bénéfices (conservation biologique, restauration ou compensation écologique, etc.).

Notions fondamentales *:* écosystème, interactions, biodiversité, relations interspécifiques, équilibre dynamique, services écosystémiques.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Objectifs : transformer l'approche anthropocentrée en une approche écocentrée où l'Homme est un élément des écosystèmes. Comprendre que la démarche scientifique permet d'apporter des solutions à des problèmes écologiques complexes.

Capacités

- Inscrire l'espèce humaine dans la représentation construite du réseau d'interactions.
- Prendre conscience de notre interdépendance avec le monde vivant qui nous entoure. Comprendre que la plupart des forêts actuelles (et autres écosystèmes) reflètent aussi un projet d'aménagement.
- Recueillir et analyser des données avant, pendant et après la perturbation d'un écosystème (incendie, destruction, etc.).
- Recenser, extraire et organiser des informations, notamment historiques et de terrain, pour identifier les impacts des activités humaines sur les écosystèmes.
- Mettre en œuvre une démarche de projet (recherche documentaire, récolte et traitement de données, etc.) pour faire appréhender les services écosystémiques (ses acteurs et ses mécanismes) et proposer des solutions de gestion durable des écosystèmes.
- Connaître les débats existant autour de la monétarisation des services écosystémiques.
- Comprendre l'importance de la démarche scientifique dans une gestion éclairée et modulable des écosystèmes afin de profiter durablement des services écosystémiques.
- Prendre conscience de la responsabilité humaine et du débat sociétal face à l'environnement et au monde vivant.

Précisions : on ne cherche pas l'exhaustivité dans le recensement des menaces pesant sur les écosystèmes : il importe que chaque élève comprenne les enjeux et mécanismes d'une menace dans sa complexité ainsi que les solutions apportées par la démarche scientifique.

Corps humain et santé

- **Variation génétique et santé**

Dans l'espèce humaine comme chez toutes les espèces vivantes, les génomes des individus diffèrent les uns des autres suite aux mutations qui se sont produites au cours des générations successives et ont été conservées dans la population. Ces différences peuvent avoir des conséquences en matière de santé : prédisposition à certains types de pathologies ou sensibilité différentes aux agents pathogènes. Le développement de la génomique conduit à l'idée d'une médecine personnalisée et ouvre la voie à la thérapie génique. De même, la variabilité génétique des micro-organismes peut avoir des implications en termes de pathogénicité ou de résistance aux drogues (médicaments) sensées les combattre.

Mutations et santé

Connaissances

Certaines mutations, héritées ou nouvellement produites, sont responsables de pathologies parce qu'elles affectent l'expression de certains gènes ou altèrent leurs produits.

L'examen des arbres généalogiques familiaux permet de connaître les modes de transmission héréditaire des déterminants génétiques responsables. L'étude des génomes de grandes cohortes de patients est à la base de l'identification des gènes correspondants.

Dans le cas d'une maladie monogénique à transmission autosomique récessive, seuls les homozygotes pour l'allèle muté sont atteints. Les hétérozygotes sont des porteurs sains.

Selon les cas, les traitements apportés visent à compenser par des médicaments la fonction altérée ou à contrôler les conditions de milieu. Dans certains cas, on peut envisager une thérapie génique visant à remplacer l'allèle muté dans les cellules du tissu atteint.

Notion fondamentale *:* risque génétique, thérapie génique.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Objectifs : les élèves comprennent les causes, le mode de transmission, les effets phénotypiques et les traitements possibles d'une maladie génétique monogénique.

Capacités

- Recenser, extraire et organiser des informations pour :
  - établir l'origine génétique d'une maladie ou d'un syndrome à partir d'arbres généalogiques ;
  - prédire les risques génétiques des nouvelles générations en calculant leur probabilité (conseil génétique).
- Recenser, extraire et organiser des informations relatives à une maladie génétique monogénique suffisamment fréquente pour que l'on puisse disposer d'un catalogue d'allèles permettant de relier un génotype au phénotype. La mucoviscidose est suggérée en raison de la diversité des allèles mutés dans la population, mais le professeur pourra préférer d'autres exemples (*drépanocytose, β-thalassémie, myopathie de Duchenne, etc.).*
- Recenser, extraire et organiser des informations relatives aux traitements médicaux envisageables en fonction de la variété des manifestations pathologiques observées (tissus affectés, âge moyen d'apparition des symptômes, sévérité du syndrome, etc.).

Précisions : aucune connaissance spécifique concernant une maladie génétique précise n'est attendue mais un élève doit pouvoir conduire une étude à partir des documents fournis (en se limitant au cas de maladies autosomales monogéniques).

Patrimoine génétique et santé

Connaissances

La plupart des pathologies d'origine génétique sont dues à l'interaction de nombreux gènes qui ne sont pas tous connus. Certains allèles de certains gènes rendent plus probable l'apparition d'une pathologie. Le fond génétique individuel intervient dans la santé de l'individu.

De plus, mode de vie et conditions de milieu peuvent interagir dans la probabilité d'apparition d'une pathologie (on peut citer, par exemple, la sensibilité aux rayonnements solaires).

Objectifs : les élèves doivent savoir que la détermination des causes d'une maladie repose sur un mode de raisonnement et des outils statistiques. Une pathologie précise (maladie cardiovasculaire ou diabète de type II, par exemple) est utilisée pour illustrer le thème. Les élèves développent leur esprit critique face aux discours simplificateurs (facteurs dit déterminants, génétiques ou non, etc.).

Capacités

- Recenser, extraire et organiser des informations pour identifier :
  - l'origine multigénique de certaines pathologies ;
  - l'influence de facteurs environnementaux.
- Identifier, dans le cas d'une maladie à causalité multifactorielle, les principes, les intérêts et les limites de l'épidémiologie (descriptive ou analytique) et de ses méthodes (étude de cohortes et témoins).
- Mener une analyse statistique simple sur des données de santé ; cartographier une pathologie en la visualisant sur un système d'information géoscientifique, par exemple.
- Appréhender de manière critique les conditions de validité d'affirmations lues ou entendues concernant la responsabilité d'un gène ou d'un facteur de l'environnement dans le développement d'une maladie.
- Savoir expliciter ses comportements face à un risque de santé pour exercer sa responsabilité individuelle ou collective.

Précisions : à partir de l'exemple choisi, les élèves discernent les principes généraux d'une approche épidémiologique, sans formalisme mathématique complexe. Ils ne développent

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

pas une expertise réelle en matière d'épidémiologie, mais sont sensibilisés à ce type d'approche.

Altérations du génome et cancérisation

Connaissances

Des modifications du génome des cellules somatiques surviennent au cours de la vie individuelle par mutations spontanées ou induites par un agent mutagène ou certaines infections virales. Elles peuvent donner naissance à une lignée cellulaire dont la prolifération incontrôlée est à l'origine de cancers.

On connaît, de plus, des facteurs génétiques hérités qui modifient la susceptibilité des individus à différents types de cancers.

La connaissance des causes d'apparition d'un type de cancers permet d'envisager des mesures de protection (évitement des agents mutagènes, surveillance régulière en fonction de l'âge, vaccination), de traitements (médicaments, thérapie génique par exemple) et de guérison.

Notions fondamentales : mutations, cancérisation, facteurs de risques.

Objectifs : les élèves acquièrent les connaissances fondamentales sur le développement des cancers, sur leurs origines et leurs formes multiples. Ils comprennent que l'identification de l'origine de certains cancers permet la mise en œuvre de mesures de santé publique.

Capacités

- Recenser, extraire et organiser des informations pour identifier les facteurs de cancérisation (agents mutagènes, infections virales, susceptibilité génétique).
- Estimer l'augmentation du taux de mutation induit par un agent mutagène.
- Recenser les causes multiples pouvant concourir au développement de certains cancers (pulmonaire, hépatique, peau) et les mesures de prévention possibles (limitation de l'exposition aux UV et à diverses pollutions chimiques, politique antitabac, etc.).
- Identifier l'importance, en matière de santé publique, de certains virus liés à la cancérisation (hépatite B, papillomavirus) et connaître les méthodes de prévention possibles (vaccination).

Précisions : les mécanismes moléculaires de la cancérisation ne sont pas à traiter.

Variation génétique bactérienne et résistance aux antibiotiques

Connaissances

Parmi les mutations spontanées ou induites qui se produisent aléatoirement dans les populations de bactéries, certaines confèrent des résistances aux antibiotiques.

L'application d'un antibiotique sur une population bactérienne sélectionne les mutants résistants à cet antibiotique, d'autant plus qu'il élimine les bactéries compétitrices sensibles et permet donc leur développement numérique. L'utilisation systématique de traitements antibiotiques en santé humaine comme en usage agronomique ou vétérinaire conduit à augmenter la fréquence des formes résistantes dans les populations naturelles de bactéries et aboutit à des formes simultanément résistantes à plusieurs antibiotiques. Cela constitue un important problème de santé publique car le nombre de familles d'antibiotiques disponibles est limité. De nouvelles pratiques plus responsables des antibiotiques disponibles doivent donc être recherchées.

Objectifs : un cas pratique de sélection naturelle dans des populations bactériennes est ici illustré et ses incidences en termes de santé publique, dégagées.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Capacités

- Étudier un protocole expérimental permettant de montrer la sensibilité ou la résistance de micro-organismes à différents antibiotiques.
- Concevoir et mettre en place un protocole expérimental pour étudier l'apparition de mutants résistants à un antibiotique à partir d'une culture de bactéries sensibles, dans les conditions de sécurité attendues.
- Recenser, extraire et organiser des informations pour :
  - identifier la sensibilité ou la résistance de micro-organismes à différents antibiotiques ;
  - calculer le taux d'apparition de résistances dans une population ;
  - analyser des bases de données sur la résistance aux antibiotiques en France et en Europe (type, incidence dans les populations, relations avec les pratiques de santé et d'élevage, etc.).
- Identifier, sur un exemple, l'intérêt de l'application du raisonnement évolutionniste en matière médicale (prendre en compte l'avantage compétitif des résistants).

Précisions : la connaissance des mécanismes moléculaires de la résistance aux antibiotiques n'est pas attendue.

- **Le fonctionnement du système immunitaire humain**

Le système immunitaire est constitué d'organes, de cellules et de molécules qui coopèrent pour assurer l'immunité de l'organisme et contribuer ainsi à sa santé. L'immunité est un ensemble de mécanismes intégrés visant à protéger l'organisme des agents infectieux, des cellules cancéreuses ou des dommages tissulaires. Tous les êtres vivants ont des systèmes de défense adaptés à leurs caractéristiques et leurs besoins. Chez les animaux, ces systèmes comprennent des dispositifs de surveillance qui fonctionnent sans relâche et qui patrouillent dans tout l'organisme, ainsi que des mécanismes de réaction déclenchés par la perception d'un élément étranger ou la modification d'une cellule de l'organisme.

Ce système comprend deux étages de défenses aux stratégies différentes :

- l'immunité innée, la première à s'être mise en place aux cours de l'évolution, chez l'ancêtre commun des animaux ;
- l'immunité adaptative qui apparaît chez les vertébrés, s'ajoute et se combine à l'immunité innée.

Les capacités immunitaires d'un individu évoluent au cours de sa vie suite au contact avec différents antigènes. Elles faiblissent chez les personnes âgées. Elles peuvent être enrichies dès l'enfance et pendant toute la vie grâce à l'aide de vaccins, de sérums, de transplantations et autres interventions médicales préventives ou curatives.

L'immunité innée

Connaissances

L'immunité innée existe chez tous les animaux. Elle opère sans apprentissage préalable. Elle est génétiquement déterminée et présente dès la naissance.

Elle repose sur des mécanismes de reconnaissance et d'action très conservés au cours de l'évolution : une dizaine de types cellulaires différents (récepteurs de surface pour la reconnaissance de motifs étrangers partagés par de nombreux intrus) et une centaine de molécules circulantes (interleukines pour la communication entre cellules).

Très rapidement mise en œuvre et présente en tout point de l'organisme, l'immunité innée est la première à intervenir lors de situations variées (atteintes des tissus, infection, cancérisation). C'est une première ligne de défense immunitaire qui agit d'abord seule puis se prolonge pendant toute la réaction immunitaire.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

La réaction inflammatoire est essentielle. Elle traduit l'accumulation de molécules et de cellules immunitaires au lieu d'infection ou de lésion. Aigüe, elle présente des symptômes stéréotypés (rougeur, chaleur, gonflement, douleur). Elle prépare le déclenchement de l'immunité adaptative.

Notions fondamentales *:* organes lymphoïdes, macrophages, phagocytose, médiateurs chimiques de l'inflammation, interleukines, récepteurs de surface, réaction inflammatoire, médicaments anti-inflammatoires.

Objectifs *:* à partir d'un exemple, les élèves distinguent le déclenchement d'une réaction immunitaire et l'importance de la réaction inflammatoire.

Capacités

- Recenser, extraire et exploiter des informations, sur les cellules et les molécules impliquées dans la réaction inflammatoire aiguë.
- Observer et comparer une coupe histologique ou des documents en microscopie avant et lors d'une réaction inflammatoire aiguë.
- Observer la phagocytose par des cellules immunitaires (macrophages).
- Recenser, extraire et exploiter des informations, y compris expérimentales, sur les effets de médicaments antalgiques et anti-inflammatoires.

Précisions : la description des récepteurs de l'immunité innée (PRR), des signaux de dangers et la connaissance des signatures des pathogènes (PAMP) sont hors programme. La mise en perspective évolutive du système immunitaire est signalée ; elle lie à cette thématique de sciences fondamentales une réflexion sur la santé, mais elle ne fait pas l'objet d'une argumentation particulière.

L'immunité adaptative

Connaissances

L'immunité adaptative complète l'immunité innée chez les vertébrés. Elle assure une action spécifique contre des motifs moléculaires portés par des agents infectieux ou des cellules anormales. Elle met en jeu des molécules et des cellules particulières, notamment les anticorps et les cellules qui les produisent. Associée à l'immunité innée, elle réussit le plus souvent à éliminer la cause du déclenchement de la réaction immunitaire.

La réaction immunitaire adaptative doit prendre en compte une grande diversité d'agents pathogènes, leur variabilité et leur évolution. Cela soulève un paradoxe : pour lutter contre cette immense diversité d'agents immunogènes, elle devrait mettre en jeu beaucoup plus de gènes que n'en porte le génome humain. Des mécanismes particuliers engendrent des combinatoires immenses de gènes et de protéines composites notamment dans le cas des anticorps :

- recombinaison de segments de gènes exprimant les parties constantes et variables des chaînes lourdes et légères des immunoglobulines ;
- assemblage des chaînes lourdes et légères.

Ces mécanismes aléatoires engendrent une diversité telle que tous les antigènes possibles sont en principe reconnaissables.

Dans la diversité produite, une première sélection élimine ce qui est incompatible avec le soi, évitant des réactions immunitaires qui se déclencheraient contre des parties saines de l'organisme.

Les cellules restantes de l'immunité adaptative circulent dans un état dormant dans le sang et dans la lymphe. Lors d'une deuxième phase de sélection, quelques-unes sont activées après une première rencontre avec un antigène particulier. Les phénomènes de sélection, d'amplification et de différenciation clonales qui s'ensuivent expliquent le délai de la réaction adaptative (plusieurs jours chez l'être humain).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

L'immunité adaptative met en place des cellules mémoire à longue durée de vie. Ces cellules permettent une réponse secondaire à l'antigène plus rapide et quantitativement plus importante qui assure une protection de l'organisme vis-à-vis de cet antigène. C'est le fondement de la vaccination.

Le système immunitaire n'est pas un organe isolé dans l'organisme ; il est diffus et interagit avec les différentes parties du corps (cerveau, intestins, etc.).

Notions fondamentales : cellules présentatrices de l'antigène, lymphocytes B, plasmocytes, immunoglobulines (anticorps), lymphocytes T CD4, lymphocytes T auxiliaire, lymphocytes T CD8, lymphocytes T cytotoxiques ; sélection, amplification (expansion) et différenciation clonale.

Objectifs *:* le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) sera évoqué sans description détaillée. Par l'étude d'un cas d'une infection virale (par exemple la grippe), les élèves comprennent comment se mettent en place les défenses adaptatives et comment, en collaboration avec les défenses innées, elles parviennent à l'élimination du virus. Par cette étude, on signale le mode d'action du VIH.

Capacités

- Recenser, extraire et exploiter des informations, y compris expérimentales, sur les cellules et les molécules intervenant dans l'immunité adaptative.
- Estimer le nombre et la diversité des cellules et des molécules nécessaires à l'immunité adaptative. Insister sur la notion de combinatoire.
- Concevoir et réaliser une expérience permettant de caractériser la spécificité des molécules intervenant dans l'immunité adaptative.
- Concevoir et réaliser des expériences permettant de mettre en évidence les immunoglobulines lors de la réaction immunitaire.

Précisions : le détail moléculaire de la présentation de l'antigène aux lymphocytes T et celui des mécanismes de recombinaison ne sont pas attendus. Les différentes classes d'immunoglobulines ne sont pas au programme.

L'utilisation de l'immunité adaptative en santé humaine

Connaissances

La vaccination préventive induit une réaction immunitaire contre certains agents infectieux. L'injection de produits immunogènes mais non pathogènes (particules virales, virus atténués, etc.) provoque la formation d'un réservoir de cellules mémoire dirigées contre l'agent d'une maladie. L'adjuvant du vaccin aide à déclencher la réaction innée indispensable à l'installation de la réaction adaptative.

Cette vaccination préventive améliore les capacités de défense d'un individu dont le phénotype immunitaire est modelé au gré des expositions aux antigènes. Elle peut être appliquée à tout âge.

Dans une population, cette vaccination n'offre une protection optimale qu'au-delà d'un certain taux de couverture vaccinale, qui bloque la circulation de l'agent infectieux au sein de cette population. Cela résulte du fait que l'on peut porter et transmettre l'agent infectieux sans être soi-même malade (porteur sain).

Des procédés d'immunothérapie (vaccins thérapeutiques et anticorps monoclonaux) ont été développés pour lutter contre certains types de cancer, et de nombreux sont en cours de développement. C'est un champ de recherche aux implications sociétales importantes.

Objectifs : les élèves découvrent comment l'humanité utilise ses connaissances de l'immunité dans le domaine de la santé. La différence entre la vaccination, préventive, et l'immunothérapie (dont les vaccins thérapeutiques) est soulignée. Les élèves acquièrent les connaissances fondamentales sur la base biologique de la stratégie vaccinale préventive qui

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

permet la protection de l'individu vacciné et de la population. On indique que l'adjuvant du vaccin prépare l'organisme au déclenchement de la réaction adaptative liée au vaccin, un peu comme la réaction inflammatoire prépare la réaction adaptative naturelle.

Capacités

- Recenser, extraire et exploiter des informations historiques sur le principe de la vaccination et ses succès contre de grandes pandémies (variole, poliomyélite, etc.).
- Recenser, extraire et exploiter des informations sur la composition d'un vaccin et sur son mode d'emploi (rappel de vaccination).
- Modéliser et calculer le taux de couverture vaccinale efficace pour un vaccin (par exemple : rougeole).
- Montrer que certains vaccins permettent de lutter indirectement contre des cancers (hépatite B, HPV).
- Prendre conscience que la vaccination est une démarche dans laquelle le bénéfice collectif est très largement supérieur au risque vaccinal individuel.
- Recenser, extraire et exploiter des informations sur la manière dont sont obtenus des anticorps monoclonaux.
- Recenser, extraire et exploiter des informations sur l'utilisation d'anticorps monoclonaux dans le traitement des cancers (par exemple : sein et colon), y compris dans ses composantes économiques.

Précisions : la description exhaustive des types de vaccins, de leur composition et des pratiques vaccinales n'est pas attendue.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPÉCIALITÉ

LA DYNAMIQUE INTERNE DE LA TERRE

Thème

Thème 1 : La Terre, la vie et l'organisation du vivant.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de préciser le sens qu'il est possible d'attribuer aux différentes parties du programme. Cette contribution au sens repose notamment sur les liens avec des enjeux éducatifs, la cohérence avec les programmes des autres niveaux, l'identification des fondamentaux à construire, des problématisations possibles pour contextualiser.

Mots-clé

Contraintes, transmission des ondes sismiques, failles, réflexion, réfraction, zones d'ombre. Morphologie d'une dorsale et d'une zone de subduction, failles normales et inverses, remontée asthénosphérique, magmatisme et roches associées, hydrothermalisme, augmentation de densité, panneau plongeant, fusion partielle, déformation, plis, chevauchement.

Références au programme

La dynamique interne de la Terre :

- structure du globe terrestre ;
- la dynamique de la lithosphère.

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs du thème. 2

Vision synoptique du thème 3

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 3

Notions à consolider, notions à construire et limites 3

Cohérence avec les cycles 3 et 4 3

En classe de 1ère 5

Le sous-thème en deux tableaux synthétiques 9

Quelques pistes pour problématiser 10

Quelques ressources 12

Bibliographie 12

Sitographie 12

Ressources numériques 12

Retrouvez éduscol sur :

Enjeux éducatifs du thème

Aux cycles 3 et 4, les ambitions liées à cette partie du programme sont essentiellement rattachées à une éducation à la **responsabilité citoyenne**. Les élèves apprennent :

- à exercer un regard critique vis-à-vis des grands médias ;
- à comprendre et argumenter en s'appuyant sur des connaissances scientifiques ;
- à comprendre les grands phénomènes géologiques et à adopter un comportement responsable en matière de gestion des risques liés à l'activité interne de la Terre.

Le professeur s'appuie sur des exemples concrets, proches du réel des élèves, une approche systémique est privilégiée. Les processus géologiques sont abordés directement en lien avec des enjeux en matière de risques naturels.

Au lycée, l'étude de ce sous-thème est l'occasion pour les élèves de comprendre comment la science construit le savoir, à partir des recherches menées, des observations et mesures réalisées, de l'analyse rigoureuse des données recueillies, afin de proposer une **explication cohérente** du monde qui nous entoure (comprendre la structure du globe terrestre, son fonctionnement, son histoire). Il s'agit de s'appuyer sur les connaissances mises en place au collège pour montrer ensuite comment l'acquisition de données et leur analyse, grâce aux outils des **géosciences**, ont permis de construire les modèles actuels de la structure de la Terre et de sa dynamique interne.

Il est ainsi proposé aux élèves **une étude scientifique de la Terre** basée sur :

- des observations de roches, d'affleurements ;
- des analyses et traitements de données sismiques, thermiques, bathymétriques, GPS, magnétiques, sédimentaires ;
- l'utilisation de modèles analogiques et numériques pour illustrer, comprendre, expérimenter autour des phénomènes géologiques étudiés, mais aussi pour discuter de la notion même de modèle et de ses limites ;
- l'analyse de documents géologiques : cartes, profils ECORS ;
- des mesures et des calculs de densité, de températures au centre de la Terre…

Les différentes observations réalisées, les données utilisées et les manipulations réalisées contribuent à l'appropriation des **différents ordres de grandeurs**, qu'il s'agisse des échelles temporelles (du phénomène instantané d'un séisme à des millions d'années d'une croûte lithosphérique) ou spatiales (du minéral au globe terrestre).

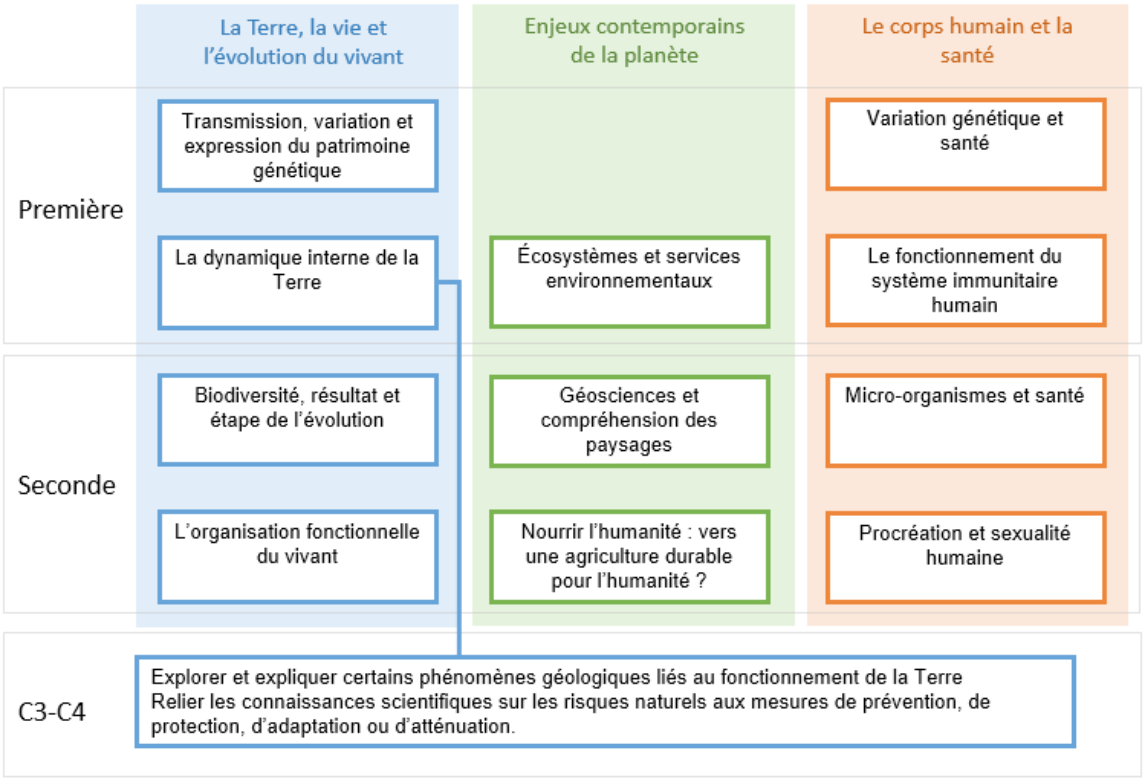
L'objectif est d'arriver à l'appropriation d'un modèle global de la dynamique interne de notre planète, argumenté scientifiquement.

Outre la compréhension de la dynamique interne de la Terre en lien avec ses manifestations visibles à la surface de la planète et ses impacts sur les activités humaines, l'un des enjeux éducatifs poursuivis dans la mise en œuvre de ce sous-thème est la compréhension de la notion de modèle, avec notamment la distinction entre données réelles (observées ou mesurées) et données issues d'un modèle.

Les outils **numériques** ont une place toute particulière dans la mise en œuvre de cette partie du programme (traitement de bases de données, une expérimentation assistée par ordinateur), contribuant ainsi au développement des compétences numériques des élèves.

Vision synoptique du thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire et limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

En cycle 3, les élèves ont une approche très globale de la Terre : sa situation dans le système solaire, ses caractéristiques qui font que la vie a pu se développer (température, présence d'eau liquide).

Ils **identifient** quelques phénomènes géologiques qui traduisent l'activité interne de la Terre et les mettent en relation avec l'évolution des paysages. Le volcanisme et les séismes sont généralement cités et reliés aux risques qu'ils représentent pour la population humaine.

En cycle 4, les phénomènes géologiques identifiés en cycle 3 trouvent une **explication** par l'étude du contexte géodynamique global de la Terre. L'énergie interne de la Terre est à l'origine des mouvements de la lithosphère qui repose sur l'asthénosphère moins rigide. Les élèves mettent en relation les mouvements des plaques avec les séismes et le volcanisme. Le volcanisme essentiellement explosif est associé aux zones de convergence de plaques (fosses océaniques), le volcanisme essentiellement effusif aux zones de divergence (dorsales océaniques). La tectonique des plaques est reliée à la dissipation de l'énergie thermique d'origine interne.

Rappel

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Explorer et expliquer certains phénomènes géologiques liés au fonctionnement de la Terre.
- Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la planète Terre.

Connaissances et compétences associées

La Terre dans le système solaire.

Expliquer quelques phénomènes géologiques à partir du contexte géodynamique global.

- Le système solaire, les planètes telluriques et les planètes gazeuses.
- Le globe terrestre (forme, rotation, dynamique interne et tectonique des plaques ; séismes, éruptions volcaniques).
- Ères géologiques.

Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels (exemple : séismes, cyclones, inondations) ainsi que ceux liés aux activités humaines (pollution de l'air et des mers, réchauffement climatique…) aux mesures de prévention (quand c'est possible), de protection, d'adaptation, ou d'atténuation.

- Les phénomènes naturels : risques et enjeux pour l'être humain.
- Notions d'aléas, de vulnérabilité et de risque en lien avec les phénomènes naturels ; prévisions.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

- idées clés pour enseigner.

En classe de 1ère

Parties du sous-thème	Des notions …
La structure du globe terrestre	**Des notions à consolider** [1] • Les failles, les séismes, les mouvements de blocs rocheux témoignent de l'accumulation de tensions liées aux mouvements des plaques. • La distinction entre la lithosphère et l'asthénosphère.
	Des notions nouvelles à bâtir • La **distribution bimodale** des altitudes observées entre continents et fond des océans à mettre en relation avec les caractéristiques des roches de la croûte océanique et de la croûte continentale. • **Les données sismiques** permettent de déterminer : - la structure interne de la Terre ; - les différences d'épaisseur de croûte océanique et continentale ; - le comportement cassant ou ductile de la lithosphère et de l'asthénosphère. • Les modes de transfert thermique : **conduction** et **convection**. • Le croisement des données thermiques, des données de composition chimique, et des données sismiques va permettre de comprendre le modèle de la **structure thermique de la Terre**. • Montrer les **hétérogénéités thermiques** au sein du manteau par l'étude des données de tomographie sismique.
	Des points de vigilance • À propos de l'étude de la croûte océanique. Aucun forage n'a été réalisé sur la totalité de l'épaisseur de la croûte océanique. En revanche au niveau des failles transformantes, des observations de coupes de croûte océanique in situ ont été réalisées. L'étude de la croûte océanique via l'étude des ophiolites n'est pas au programme. • À propos de la répartition bimodale des altitudes. La répartition bimodale des altitudes ne peut s'expliquer qu'en invoquant le contraste géologique entre les deux croûtes océanique et continentale d'une part, et en mobilisant l'équilibre isostatique d'autre part. En première spécialité SVT, l'explication n'est donc que partielle dans la mesure où l'isostasie n'est pas au programme. • À propos du modèle PREM. Cette figure classique n'est pas issue de l'étude d'enregistrements de séismes. C'est le résultat de multiples travaux de recherche (étude de nombreux sismogrammes, données de physique expérimentale, calculs ...). • À propos du géotherme. En surface, le géotherme peut être déterminé lors des forages. Les résultats sont variés, mais une augmentation de 30°C par km semble être la moyenne. Si cette augmentation était constante, la température au centre de la Terre devrait être de 192 000 degrés (30 x 6400) et de 3000°C (30 x 100) à la base de la lithosphère. C'est par des études réalisées sur des enclaves mantelliques, sur l'évolution de la vitesse des ondes sismiques dans le manteau et sur les transitions de phase de l'olivine en laboratoire, que l'on a pu construire un modèle du géotherme terrestre. Ainsi la température serait d'environ 3000 °C à la base du manteau et d'environ 5000 °C au cœur du noyau.

1. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Parties du sous-thème	Des notions …
La dynamique de la lithosphère	**Des notions à consolider** • Une lithosphère découpée en plaques animées de mouvements. • Les limites de plaques sont caractérisées par une importante activité sismique et volcanique.
	Des notions nouvelles à bâtir • Les différentes méthodes, passées et actuelles, qui permettent de quantifier le mouvement des plaques. • Déterminer les caractéristiques géologiques des zones de convergence et des zones de divergence. • Mise en place d'une lithosphère océanique et sa transformation progressive lors de l'éloignement à la dorsale (refroidissement, épaississement, augmentation de la densité, hydratation). • Disparition de la lithosphère océanique au niveau des zones de subduction et le magmatisme associé au niveau de la plaque chevauchante. • Rôle important de l'augmentation de la densité de la lithosphère océanique dans la subduction et plus généralement dans les mouvements de convection. • L'affrontement des plaques au niveau des zones de collision conduit à un épaississement crustal. • Les structures tectoniques témoin du raccourcissement et de l'empilement de matériaux lithosphériques.

Parties du sous-thème	Des notions …
	Des points de vigilance • À propos des anomalies magnétiques mesurées au niveau du plancher océanique. La carte de l'âge des fonds océaniques est une construction à partir de données (forages et anomalies magnétiques). Les anomalies magnétiques correspondent à une anomalie de la valeur du champ magnétique mesuré par rapport à la valeur du champ magnétique actuel. Ce qui est mesuré est une anomalie de la valeur de l'intensité du champ magnétique (teslamètre tracté par un bateau) et non pas un relevé de l'orientation des minéraux ferromagnésiens des basaltes. Certains minéraux des basaltes génèrent un champ magnétique (magnétite par exemple) dont les caractéristiques dépendent du champ magnétique terrestre au moment de leur formation. C'est ce champ magnétique créé par les minéraux qui perturbe la valeur du champ magnétique actuel. Par ailleurs, l'échelle magnétostratigraphique sur laquelle figure la succession des périodes normales et inverses a été établie en domaine continental. • À propos de la carte des flux géothermiques à la surface de la Terre. La carte du flux géothermique terrestre mesuré en mW/m^2 n'est pas issue d'une mesure à l'aide d'un appareil. C'est l'étude du gradient géothermique dans les forages qui permet sa construction. • À propos des dorsales lentes et rapides[2]. Attention à ne pas mélanger des données issues de deux types d'océans différents. Il est plus judicieux de construire l'un des modèles puis de confronter ce modèle à des données nouvelles. Cette partie est l'occasion de bien insister sur la notion de modèle construit par la pensée (à partir d'un raisonnement rigoureux, cohérent, matérialiste et parcimonieux). La vitesse d'accrétion au niveau d'une dorsale générant une plaque est liée au pourcentage de frontière de cette plaque qui est en subduction. • À propos de la subduction. - La subduction ne se définit pas comme étant le passage d'une plaque sous une autre, mais comme étant le plongement d'une lithosphère rigide dans l'asthénosphère plus ductile. - Les minéraux hydroxylés : les géologues qualifient les groupements OH d'eau structurale. Les minéraux riches en eau ne contiennent pas des gouttes d'eau liquide. Attention aux modèles analogiques dans lesquels un abaissement du point de fusion d'une matière (saccharose par exemple) est réalisé en ajoutant de l'eau liquide. L'utilisation de ces modèles analogique peut être pertinente, mais des précisions concernant son transfert direct à la fusion mantellique s'imposent. - L'hydratation du manteau de la plaque chevauchante : les élèves peuvent pointer le fait que la transition schistes bleus / éclogite a lieu vers 50 km de profondeur alors que la fusion à l'aplomb des volcans aurait lieu plus bas (entre 80 et 120 km). Cette remarque est tout à fait pertinente. Les géologues pensent que le manteau hydraté vers 50 km serait animé de mouvements descendants. Par ailleurs la fusion du manteau, n'est que partielle et génère toujours des magmas basaltiques.

2. Dorsales lentes et rapides, d'après : Géologie, Damien Jaujard, éditeur : Maloine

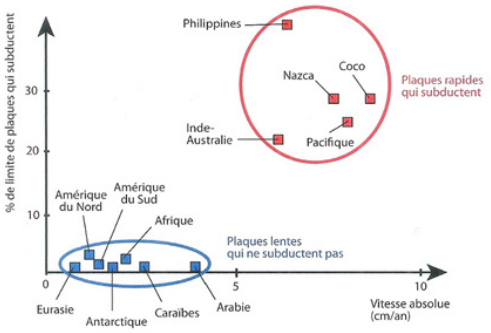


Fig. 2.17 – Relation entre la vitesse absolue des plaques et leur pourcentage de frontière en subduction (d'après Forsyth et Uyeda, 1975).

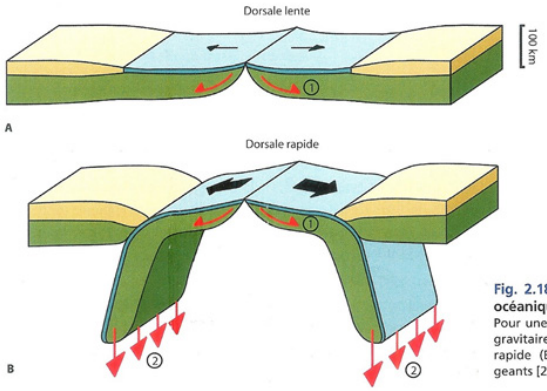


Fig. 2.18 – Les moteurs de l'expansion océanique.
Pour une dorsale lente (A), seul le glissement gravitaire intervient [1]. Pour une dorsale rapide (B), la traction des panneaux plongeants [2] accélère l'écartement.

Précisions - Limites	
La structure du globe terrestre	• En pétrologie, il s'agit d'acquérir les données fondamentales centrées sur les trois types de roche (basalte, gabbro, granite) et leurs caractéristiques. • À ce stade, les différences de relief ne sont pas expliquées par des phénomènes d'isostasie. • La connaissance des mécanismes au foyer n'est pas attendue.
La dynamique de la lithosphère	• On n'attend pas d'explications sur les inversions du champ magnétique. • On n'attend pas d'exhaustivité des roches des zones de subduction. Seules les roches magmatiques citées dans le programme sont attendues.

Le sous-thème en deux tableaux synthétiques

La structure du globe	
Objectifs	**La distribution bimodale des altitudes** • Par une différence de nature des roches qui composent la croûte océanique et la croûte continentale.
	Comment une analyse rigoureuse des données scientifiques a permis la connaissance actuelle de la structure interne du globe • Données sismologiques et détermination des différentes enveloppes ainsi que de leurs propriétés physiques – Modèle PREM • Données thermiques et transferts thermiques au sein des enveloppes (conduction / convection). • Croisement des différentes données et construction de la structure thermique de la Terre.

La dynamique de la lithosphère	
Objectifs	**Les caractéristiques des mouvements horizontaux de la lithosphère** • En quantifiant le mouvement des plaques (direction, sens, vitesse). • En différenciant les limites de plaques par leurs caractéristiques géologiques.
	Les caractéristiques et la dynamique des zones de divergence • En déterminant l'origine du magma qui formera le plancher océanique. • En précisant l'intérêt des dorsales lentes dans la connaissance des roches du manteau. • En étudiant l'évolution du plancher océanique lorsqu'il s'éloigne de la dorsale.
	Les caractéristiques et la dynamique des zones de subduction • En expliquant l'origine du volcanisme explosif par fusion partielle du manteau de la plaque chevauchante déclenchée par la déshydratation de la plaque plongeante. • En déterminant le rôle majeur joué par l'augmentation de la densité de la lithosphère océanique lors de son plongeon et plus généralement dans les mouvements de convection du manteau.
	Les caractéristiques et la dynamique des zones de collision • En notant la présence d'un fort épaississement de la croûte. • En recherchant les indices de cet affrontement entre les deux lithosphères qui se traduit par un raccourcissement et un empilement de matériaux lithosphérique.

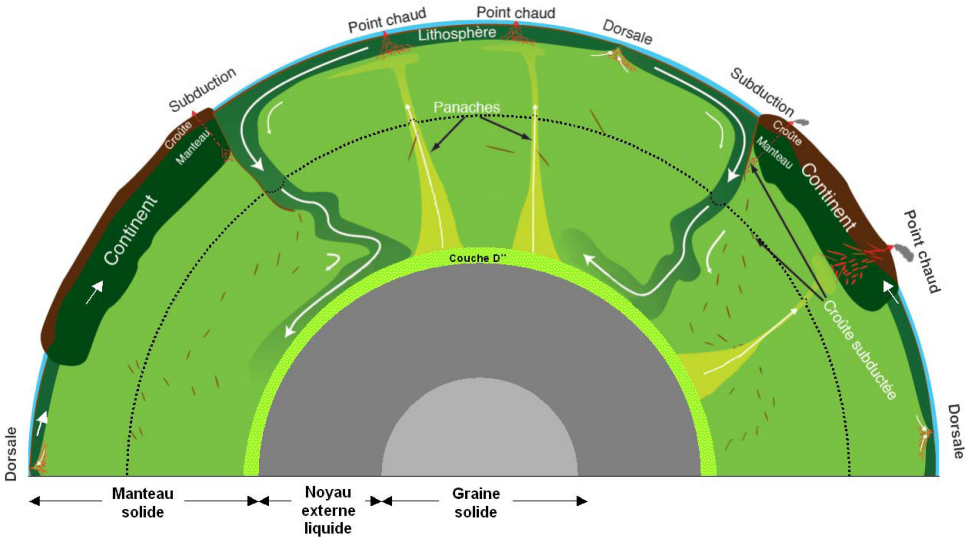
Quelques pistes pour problématiser

Selon les démarches d'investigation engagées (ou initiées lors d'une problématisation), il est possible de commencer par l'une ou l'autre des deux parties de ce sous-thème.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par le professeur seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

A titre d'exemple[3], la carte heuristique ci-dessous part d'une problématisation envisageable : « Sur quels arguments s'appuient les scientifiques pour construire le modèle actuel de la dynamique interne du globe » ?

Il est possible de s'appuyer sur un modèle tel que celui proposé ci-dessous issu du site Planet-Terre.



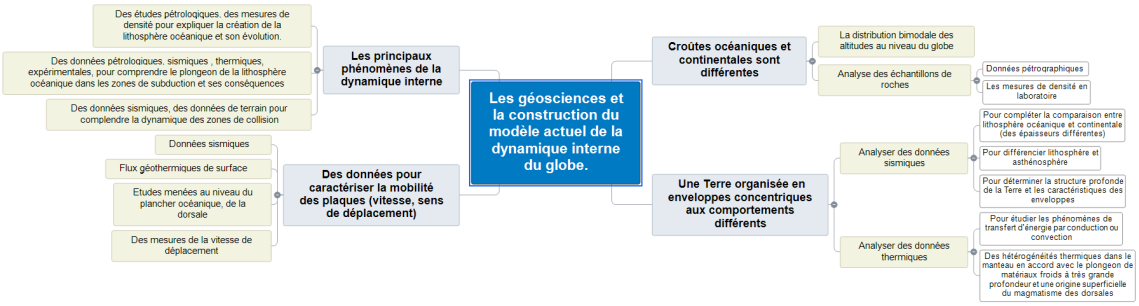
Il s'agira alors de mener une recherche d'investigation pour trouver les arguments qui valident ce modèle à partir des données dont dispose la communauté scientifique.

- Une organisation en enveloppes concentriques avec des propriétés physiques et chimiques différentes, représentées par des codes couleur différents.
- Des représentations différentes des lithosphères continentales et océaniques liées à des différences physiques et chimiques des enveloppes externes.
- Une hétérogénéité thermique du manteau avec le plongeon de matériaux froids à très grandes profondeurs, un magmatisme peu profond au niveau des zones de divergence, un magmatisme d'origine profonde au niveau des points chauds.
- Les mouvements principaux de la lithosphère océanique liés aux transformations subies au cours de son histoire et de l'évolution progressive de sa densité.
- Le magmatisme d'origine mantellique des zones de convergence.

3. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant –** il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.

Ce modèle sera complété en étudiant également les zones de collision. Les élèves auront ainsi une vision globale des principaux phénomènes liés à la dynamique interne du globe.

Peu à peu, l'élève complète ainsi ses connaissances et construit une explication scientifique des différentes manifestations géologiques observables au niveau du globe. Il mène une recherche d'investigation à partir d'une analyse rigoureuse de données scientifiques. Il comprend le rôle principal joué par les différences de densité lithosphérique et des transferts thermiques mantelliques dans la tectonique des plaques.



Cliquer ici pour obtenir l'image en grandeur réelle.

Quelques ressources

Bibliographie

- Éléments de géologie, Renard Maurice, Lagabrielle Yves, Martin Erwan, De Rafélis Saint Sauveur Marc, 16e éd., Dunod, 2018
- Mémo visuel de géologie, L'essentiel en fiches, Lagabrielle Yves, Maury René, Renard Maurice, 2e éd., Dunod, 2017
- Géologie – Géodynamique- Pétrologie- Étude de terrain – Damien Jaujard, Maloine, 2015

Sitographie

- La lithosphère est animée de mouvements quantifiés par différentes méthodes géologiques : étude des anomalies magnétiques, mesures géodésiques, détermination de l'âge des roches par rapport à la dorsale.
- Le champ magnétique terrestre, l'aimantation des roches et sa mesure, exemples d'études paléomagnétiques en domaines océanique et continental.
- La machine Terre (vidéo de 6 min 34) du site insu.cnrs.fr.
- Le modèle PREM (Preliminary Earth Model) du site insu.cnrs.fr.
- Un modèle très simplifié de la convection mantellique sur le site planet-Terre.
- Convection, gradient thermique et géotherme sur le site planet-Terre
- Conférence de Pierre Thomas intitulée : La convection mantellique : mythes, réalités et questions. Cette conférence permet de faire le point sur un grand nombre de notions à construire : géotherme terrestre, modes de transferts de la chaleur, écarts au modèle PREM...
- Une approche historique de l'évolution des modèles de l'intérieur de la Terre. Un article qui permet notamment de comprendre comment le modèle PREM s'est construit au cours de l'histoire des sciences.

Ressources numériques

- Un logiciel qui permet de réaliser des tomographies sismiques à n'importe quel endroit du globe. Il ne nécessite aucun téléchargement.

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPÉCIALITÉ

LES ÉCOSYSTÈMES ET SERVICES ENVIRONNEMENTAUX

Thème

Thème 2 - Enjeux contemporains de la planète.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Biomasse ; réseaux trophiques ; décomposeurs ; cycle de matière ; système ; agrosystème ; intrants ; engrais ; produits phytosanitaires ; exportation ; biomasse ; production ; rendement écologique ; frontière ; élément ; flux ; interactions ; équilibres dynamiques ; perturbation ; résilience ; perturbation irréversible ; écosystème, interactions, biodiversité, relations interspécifiques, équilibre dynamique, services écosystémiques.

Références au programme

Écosystèmes et services environnementaux

Enjeux éducatifs

L'enjeu éducatif majeur de l'étude des thématiques liées à la biodiversité et aux écosystèmes est de permettre aux élèves d'appréhender de façon scientifiquement rigoureuse les questions liées aux écosystèmes, de distinguer les questions qui relèvent du champ scientifique et d'être en mesure de mobiliser les savoirs et démarches scientifiques permettant de les traiter. L'objectif est de **leur permettre d'acquérir les savoirs et compétences sur lesquels fonder des comportements éthiques et responsables, informés et raisonnés, en toute conscience des responsabilités individuelle et collective de chacun**.

A travers l'étude des services écosystémiques et de leur gestion, l'objectif est bien d'amener les élèves à **transformer l'approche anthropocentrée en approche écocentrée** où l'être humain est un élément des écosystèmes.

L'étude de l'impact, direct ou indirect, des activités humaines sur l'environnement s'appuiera sur un raisonnement systémique pour comprendre les enjeux, discuter de solutions envisageables (mobilisation de l'ingénierie écologique notamment) et appréhender la

complexité des situations (diversité des acteurs et des enjeux). Il s'agit notamment de montrer comment la connaissance et la démarche scientifique des écosystèmes (écologie) peuvent permettre d'apporter des solutions à des problèmes écologiques complexes, et contribuer à une gestion rationnelle des ressources exploitables, assurant à la fois l'activité économique et le maintien des services écosystémiques. **La formation ainsi dispensée aux élèves contribue de fait à l'éducation au développement durable**[1].

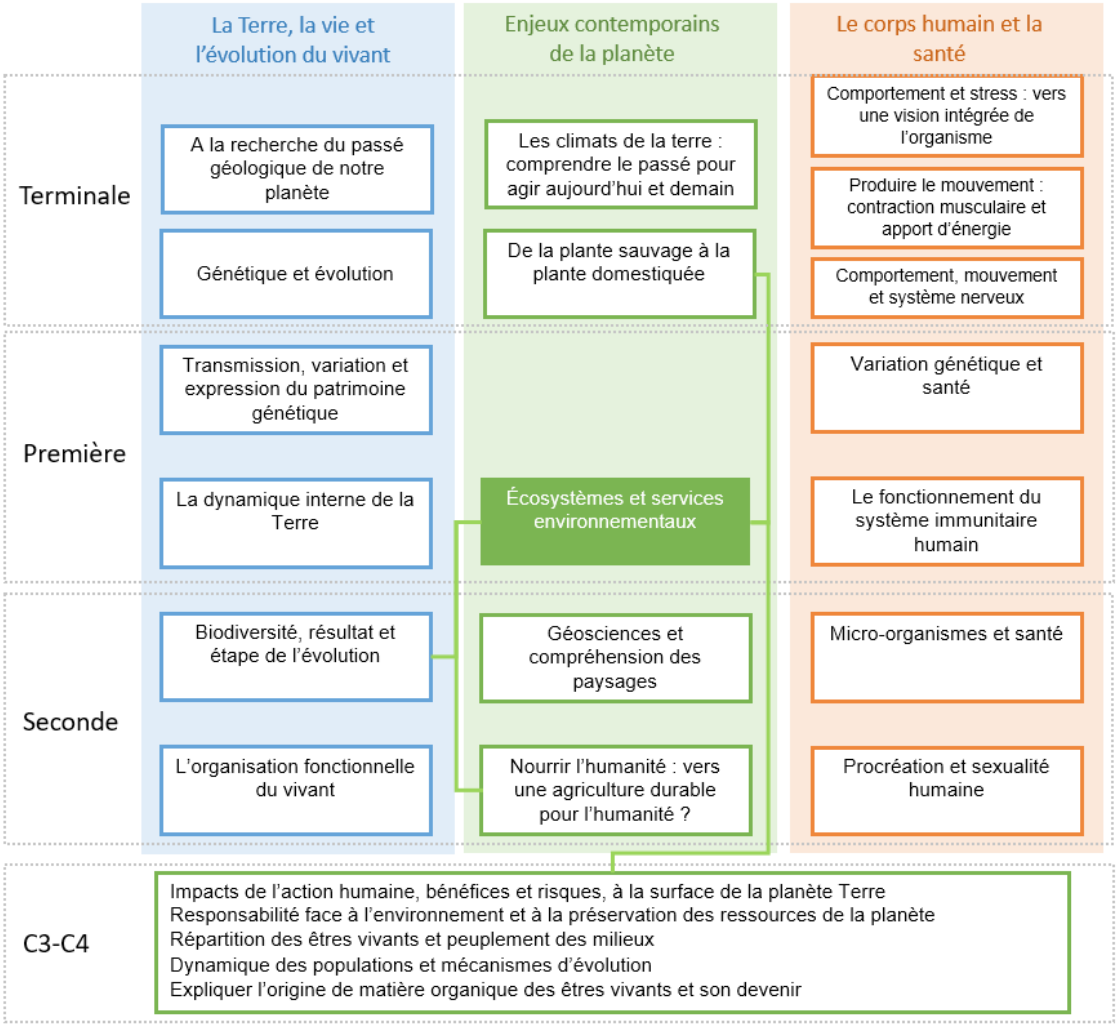
Pour mieux apprendre à gérer les écosystèmes de manière durable et développer un comportement responsable envers notre environnement, il est important que l'élève prenne conscience de la complexité d'un écosystème pour :

- comprendre les changements écologiques actuels ;
- appréhender les conséquences possibles de l'action humaine et les solutions envisageables pour limiter son impact dans l'objectif d'une exploitation durable des ressources et de la préservation de la biodiversité. Ce sont les actions répétées de l'être humain sur les écosystèmes qui diminuent progressivement la richesse de l'écosystème, notamment au niveau de sa biodiversité, et conduisent à une lente érosion de la résilience. Durant toute leur scolarité, des exemples de résilience peuvent être donnés aux élèves. On peut ainsi montrer que si l'impact des activités et comportements humains est parfois important, la résilience est possible par un changement des pratiques.

1. Depuis la publication des 17 objectifs de développement durable (ODD), dont « Une éducation de qualité pour tous », par les Nations Unies en 2015, ces derniers font l'objet d'appropriations nationales sous la forme des « Agendas 2030 ». Les ODD font l'objet d'une dynamique d'appropriation forte et rapide par les collectivités territoriales, le monde de l'entreprise et les associations. Les ODD confèrent une nouvelle dimension à l'éducation au développement durable, et un sens planétaire à la mission propre à l'Éducation nationale https://www.education.gouv.fr/cid114243/les-objectifs-de-developpement-durable.html

Vision synoptique du thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire.



Notions à consolider, notions à construire et limites

L'étude de la **biodiversité** est étroitement liée à celle des écosystèmes. Un écosystème est caractérisé par sa biocénose, ses caractéristiques physico-chimiques, et par son fonctionnement (basé sur les interactions). Les êtres vivants présents dans le milieu sont soumis aux mécanismes de l'évolution, une évolution perpétuelle observable à toutes les échelles de temps et d'espace (des écosystèmes actuels à l'échelle planétaire au cours des temps géologiques). Un écosystème est ainsi **système en équilibre dynamique**. Un écosystème est un système qui a des « fonctions » : contribution aux cycles globaux de la planète, fonction écosystémique, …

Les activités et comportements humains peuvent influer sur les écosystèmes, perturbant leur équilibre dynamique. Cependant, un écosystème possède une **capacité de résilience** : à la suite d'une perturbation, un nouvel équilibre dynamique peut se développer, souvent différent de l'équilibre initial. La capacité de résilience d'un écosystème dépend directement de sa richesse spécifique et elle a ses limites (des perturbations trop fréquentes et/ou trop importantes peuvent altérer définitivement un écosystème).

Retrouvez éduscol sur :

1_SVT_EcosystemesServicesEnvironnementaux 220

Cohérence avec les cycles 3 et 4

Dès le cycle 2 les élèves découvrent des écosystèmes simples et ils découvrent l'importance des interactions entre les êtres vivants qui le composent (relations trophiques) et entre ces organismes et certains paramètres du milieu de vie (lumière, température, humidité, …).

En cycle 3, à partir de l'environnement proche, directement observable, les élèves sont amenés à appréhender la notion d'écosystème.

- Les interactions trophiques entre les êtres vivants et leur milieu sont établies. L'origine de la matière organique, son transfert au sein des réseaux trophiques et son recyclage par les décomposeurs sont abordés. Ils prennent conscience des **flux de matière** au sein d'un écosystème. Le plus souvent, les élèves ont étudié un exemple de culture et d'élevage afin d'identifier l'origine de nos aliments.
- Ils prennent conscience qu'**un écosystème est un système dynamique** : les saisons, les modifications physicochimiques et/ou biologiques du milieu (naturelles ou liées à l'intervention de l'être humain) peuvent provoquer des modifications de la biodiversité. Un écosystème est ainsi système en **équilibre dynamique** que les actions humaines peuvent perturber. Les modifications de la biodiversité sont observables à échelle humaine, sur des milieux bien définis, mais également à l'échelle des temps géologiques, au niveau planétaire cette fois.

En cycle 4, les élèves confortent leurs connaissances sur la **dynamique des populations** au sein d'un écosystème. Dans un même milieu, le nombre d'individu d'une population varie :

- en fonction des modalités de la reproduction (sexuée ou asexuée) responsables de la stabilité et de la diversité des individus ;
- sous l'influence des facteurs du milieu sur la survie des individus (quantité de nourriture à disposition, compétition interspécifique, présence de prédateurs, conditions physico-chimiques, …)

A cette dynamique des populations, s'ajoute **l'évolution des individus** sous l'effet du hasard par le biais des mutations qui touchent le génome, des brassages génétiques et de la sélection naturelle.

Le lien entre biodiversité et dynamique des écosystèmes est donc établit **dès le cycle 4**. Un écosystème se définit par ses caractéristiques, par sa richesse spécifique, et il se modifie au gré notamment de l'évolution des populations qui le constituent.

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles de temps et d'espace.
- Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer : la nutrition des organismes – la dynamique des populations – la classification du vivant – la biodiversité – la diversité génétique des individus – l'évolution des êtres vivants.

Connaissances et compétences associées

- Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations.
- Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants et l'évolution.
- Relier comme processus dynamiques la diversité génétique et la biodiversité.
- Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

idées clés pour enseigner

Retrouvez éduscol sur :

1_SVT_EcosystemesServicesEnvironnementaux 221

En classe de 2de

En seconde, les élèves remobilisent leurs connaissances sur la biodiversité ; la biodiversité actuelle n'étant que le résultat de l'évolution. Elle s'inscrit dans une évolution permanente et n'est le reflet que de la diversité du vivant à un moment donné. Ils complètent leurs connaissances sur les mécanismes d'évolution et découvrent la dérive génétique.

Par des démarches scientifiques, ils identifient les conditions nécessaires à la gestion des agrosystèmes de manière durable, notamment par la préservation des sols et des ressources aquatiques. **Les flux de matière** au sein des écosystèmes sont précisés, la nécessité d'un apport d'intrants est soulignée dans le cas d'un agrosystème.

En classe de 1re

En enseignement de spécialité SVT de 1re, les connaissances acquises sur les écosystèmes et leur fonctionnement sont mobilisées et complétées. Les écosystèmes étudiés sont plus complexes, les caractéristiques de son organisation précisées et discutées (frontière, flux, interactions). Les impacts directs ou indirects des activités et comportements humains sont envisagés en termes de perturbation des équilibres dynamiques des écosystèmes et c'est la notion de résilience qui sera convoquée.

La découverte de la diversité des services écosystémiques est à relier avec les enjeux en termes de gestion rationnelle des ressources exploitables et les problématiques de santé. Le rôle de l'ingénierie écologique sera évoqué dans ce contexte.

Parties du sous-thème	Des notions…
Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et entre eux et leur milieu	**Des notions à consolider** [2] • La notion de dynamique des populations au sein d'un écosystème. • Les relations interspécifiques au sein d'un écosystème. • La notion de flux de matière.
	Des notions nouvelles à bâtir • Complexité d'un système écologique au niveau des relations entre les êtres vivants qui le composent et des flux de matière qui caractérisent son fonctionnement. • La notion de dynamique spatio-temporelle d'un écosystème avec des perturbations possibles, même sans l'action humaine. • Les capacités d'un écosystème à retrouver un équilibre dynamique par résilience.
L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques et leur gestion	**Des notions à consolider** • L'impact de l'Homme sur son environnement : interaction avec les êtres vivants, exploitation des ressources, modifications du biotope, …
	Des notions nouvelles à bâtir • La notion de service écosystémique d'approvisionnement, de régulation, de culture. • La gestion rationnelle des écosystèmes pour permettre le maintien de ces services. • La notion d'ingénierie écologique : des techniques pour une exploitation maximale des écosystèmes, mais de façon durable.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Précisions - Limites	
Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et entre eux et leur milieu	• Les écosystèmes forestiers constituent de bons exemples pour étudier aussi bien la complexité d'un système écologique que les services écosystémiques et leur gestion. • Des exemples directement observables sont à privilégier pour faciliter la compréhension des phénomènes étudiés et l'implication des élèves.
L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques et leur gestion	• Ne pas chercher l'exhaustivité des menaces qui pèsent sur les écosystèmes. L'élève doit être capable, en menant une démarche scientifique, d'identifier les enjeux, les mécanismes et les solutions apportées en rapport avec une menace. L'objectif visé est que, par la suite, l'élève soit capable de transférer cette démarche à toute autre situation rencontrée.

Le sous-thème en deux tableaux synthétiques

Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et entre eux et leur milieu	
Objectifs et points de vigilance	**La complexité d'un système[3] écologique** • en identifiant les différentes interactions possibles entre les êtres vivants ; • en identifiant l'effet des écosystèmes sur les cycles géochimiques (bilans des sorties et entrées de matière).
	Un système écologique est caractérisé par un équilibre dynamique • qui évolue continuellement même sans l'action de l'Homme ; • qui est susceptible d'être perturbé ; • qui est capable de résilience et retrouve un nouvel équilibre après perturbation.

3. Le concept de « système » sera précisé en enseignement spécialité SVT en classe de 1re (flux entrants et sortants, dynamique temporelle,…) et réinvesti lorsque seront abordées les régulations (cybernétique, systèmes régulés) en enseignement scientifique de terminale.

L'humanité et les ecostemes : les services écosystémiques et leur gestion	
Objectifs et points de vigilance	**L'être humain est un élément parmi d'autres dans les écosystèmes qu'il a colonisé,** • car il est en interaction avec les autres maillons des écosystèmes auxquels il appartient (relations trophiques, …) ; • car il prélève des ressources, modifie le biotope ; • mais avec un impact qui peut être important.
	Les comportements et activités humaines impactent les écosystèmes • par ses activités et comportements l'être humain impacte quasiment tous les écosystèmes, de façon directe ou indirecte.
	Les écosystèmes sont indispensables à l'être humain • par la diversité des services écosystémiques rendus ; • par leur contribution aux grands équilibres environnementaux (cycles biogéochimiques, …) ; • par leur impact sur notre santé et notre qualité de vie.
	Les connaissances permettent d'envisager une gestion durable • en étudiant le système dans sa globalité (organisation et fonctionnement) pour mieux prévoir les conséquences d'une action ; • en développant des techniques d'ingénierie pour trouver des solutions réalistes.

Notions abordées en cycle terminal spécialité SVT et articulation avec l'enseignement scientifique

En enseignement de spécialité SVT de terminale, l'étude de l'impact des changements climatiques sur la biodiversité et la santé humaine (thème 2 – sous-thème « les climats de la Terre ») sera l'occasion de remobiliser et de renforcer les connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes naturels et agricoles.

En première et en terminale le lien pourra être établi avec **certains thèmes de l'enseignement scientifique de tronc commun** : avec le thème 2 « Le soleil, notre source d'énergie » en première (point 2.3. « une conversion biologique de l'énergie solaire : la photosynthèse » et avec le thème 1 « sciences climat et société » en terminale.

Quelques pistes pour problématiser

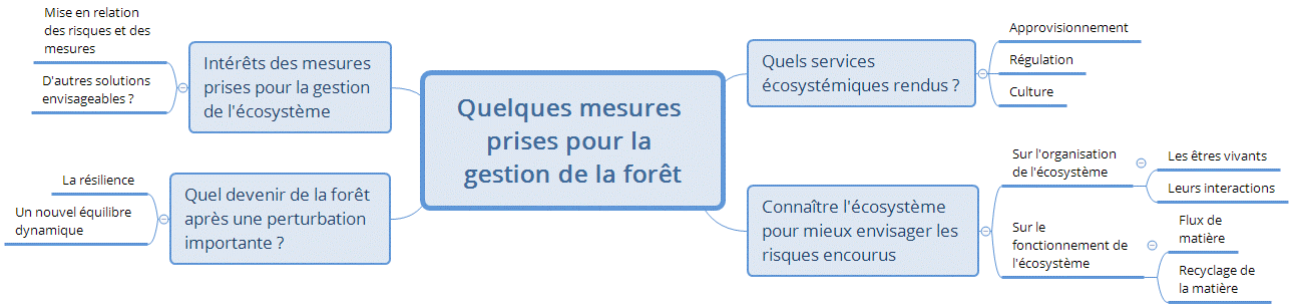
Selon les démarches d'investigation engagées (ou initiées lors d'une problématisation), les deux parties du sous-thème peuvent être abordées dans des ordres divers.

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

À titre d'exemple[4], la carte heuristique ci-dessous a été conçue en lien avec une des problématiques envisageable : à partir de l'étude d'un exemple forestier proche, l'élève s'interroge sur quelques mesures régionales prises pour la gestion du « milieu » (règlementation de la chasse, période d'interdiction de feu, règlementation de prélèvement du bois, essences plantées, espèces introduites, …). Cette étude peut faire l'objet d'un travail collaboratif, chaque groupe étudiant une mesure prise pour la gestion de la forêt. Pour comprendre ces mesures, une connaissance de l'écosystème est indispensable. Par une démarche d'investigation, il est amené à :

- prendre conscience de la complexité du système écologique : il détermine quels sont les êtres vivants présents et leurs interactions, il détermine les flux de matière liés au fonctionnement de l'écosystème étudié et les mets en relation avec les grands cycles géochimiques ;
- étudier le phénomène de résilience à la suite d'un phénomène naturel (incendie, tempête) ou de l'activité humaine sur ce milieu (données historiques, recherche documentaire, témoignages…) ;
- se questionner sur les services écosystémiques rendus par cet écosystème particulier ;
- mettre en relation les mesures prises avec une gestion du milieu qui permet d'en tirer un bénéfice maximal, mais de manière durable, envisager d'autres réponses possibles pour limiter l'impact des activités humaines.



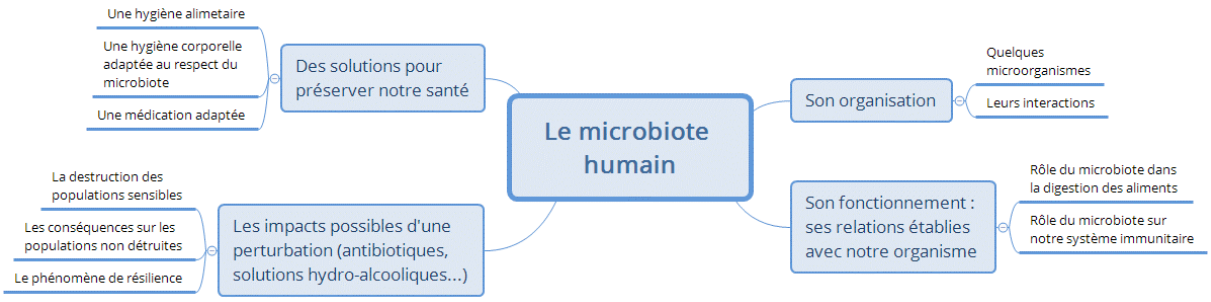
Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

Une démarche similaire applicable sur un autre écosystème d'une importance première pour la santé humaine : le microbiote humain.

La problématique proposée aux élèves serait d'envisager les conséquences d'une perturbation liée à notre comportement sur le microbiote et de chercher des réponses réalistes pour préserver cet écosystème bien particulier.

4. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits

Dans l'exemple proposé ici, l'élève doit appréhender la complexité du microbiote et de ses relations avec notre organisme pour mieux comprendre les conséquences prévisibles de la perturbation.



Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

Sitographie

Voir également les ressources de la fiche consacrée à la biodiversité.

Écosystèmes et services écosystémiques

- IPBES - Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques
- Ministère de la Transition écologique et solidaire - L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques
- EM - Évaluation des écosystèmes pour le millénaire L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire est un programme de travail international conçu pour répondre aux besoins des décideurs et du public en matière d'information scientifique relative aux conséquences des changements que subissent les écosystèmes pour le bien-être humain ainsi qu'aux possibilités de réagir à ces changements. Les études menées, les conclusions du groupe, les modèles prévisionnels sont consultables en ligne
- Canal U-TV – Biodiversité et services écosystémiques (Denis Couvet, professeur au MHNH)

Éducation au développement durable

- Éduscol – Éducation au développement durable
- UNESCO - Les Objectifs de Développement Durable (ODD)
- UNESCO - Les Objectifs d'apprentissage des ODD

Éducation aux médias et à l'information

- Éduscol – Éducation aux médias et à l'information

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPÉCIALITÉ

L'INFORMATION GÉNÉTIQUE, SA TRANSMISSION, SON EXPRESSION, SA VARIATION.

Thème

Thème 1 - La Terre, la vie et l'organisation du vivant.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clé

Division cellulaire, mitose, méiose, diploïde, haploïde, méiose, cycle cellulaire eucaryote, fuseau mitotique ou méiotique, réplication semi conservative, ADN polymérase, clone, allèles, mutations, nature et fréquence des mutations, mutations spontanées et induites, systèmes de réparation.

Références au programme

Transmission, variation et expression du patrimoine génétique.

Enjeux éducatifs du thème

Au collège

Dans les anciens programmes, la génétique était essentiellement abordée en prenant appui sur l'espèce humaine. Dans les nouveaux programmes, l'approche est différente ; elle est centrée sur l'évolution du vivant.

	Programmes de 2009	Programmes de 2015
Thème d'étude	Diversité et unité des êtres humains	Le vivant et son évolution
Objectifs	Montrer que l'information génétique est responsable de l'unité de l'espèce humaine mais également de la diversité des individus dans l'objectif de lutter contre les préjugés et les stéréotypes pouvant mener au racisme. On montre que de nombreux caractères peuvent se présenter dans la population humaine sous des formes très variables. Cette partie du programme participait ainsi pleinement à **l'éducation à la citoyenneté** et aux droits de l'Homme.	On montre tout au long du cycle 4, comment l'information génétique est responsable des caractères des individus, par quels mécanismes elle est transmise d'une génération à l'autre, enfin, comment les divisions cellulaires assurent la stabilité et la diversité des individus. Il s'agit ici de donner aux élèves une **explication scientifique** au monde qui les entoure et notamment à l'organisation du vivant et à son évolution.

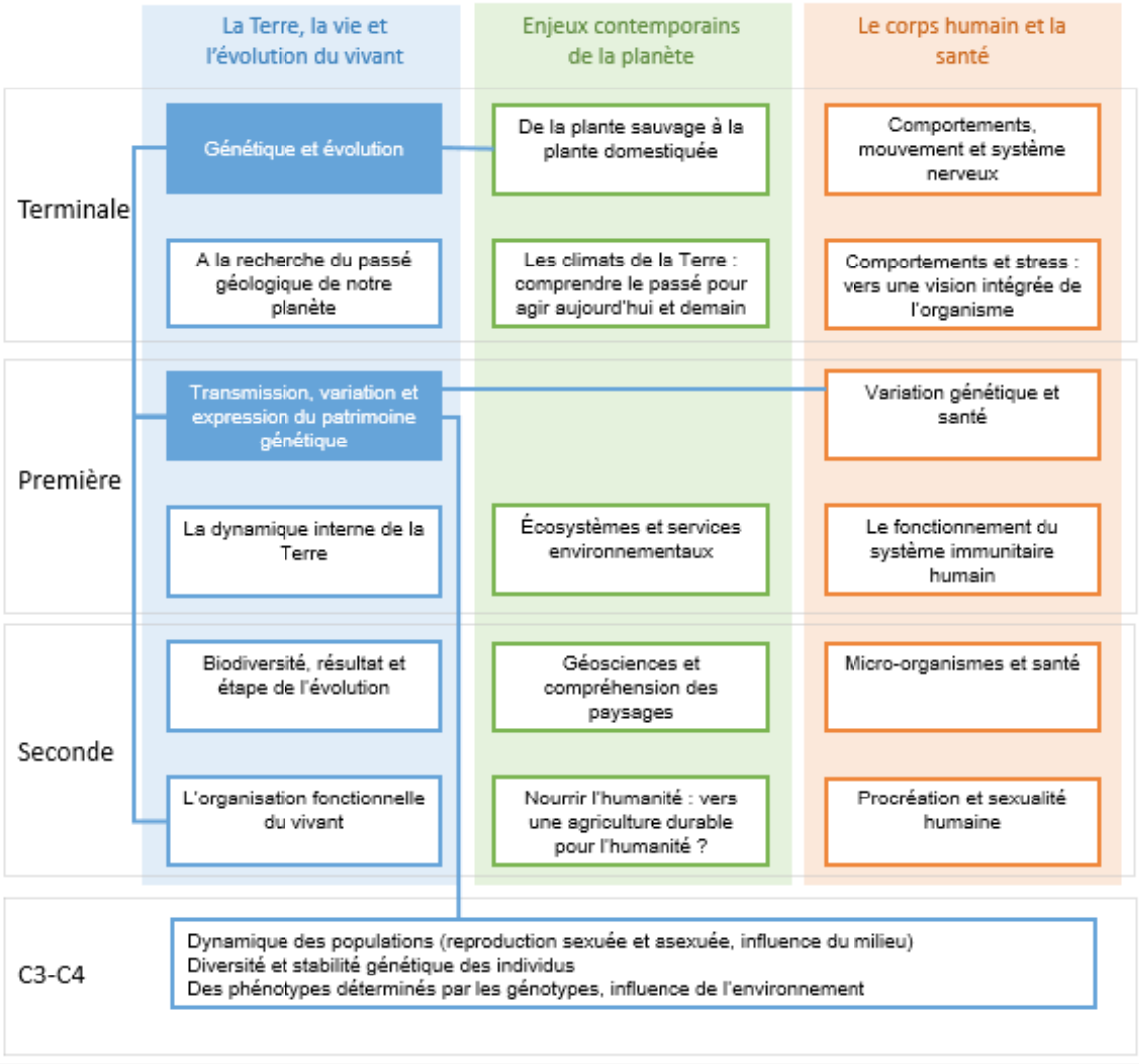
Ainsi, les collégiens ont une vision générale de l'expression et de la transmission de l'information génétique qui n'est plus centrée sur la reproduction humaine mais qui s'applique à toutes les espèces. Les professeurs peuvent s'appuyer sur des exemples très variés pour développer les notions de reproduction sexuée, de diversité du vivant, de phénotype…

Au Lycée

Quel que soit le niveau d'étude, les notions de génétique sont abordées dans le thème principal « La Terre, la vie et l'organisation du vivant ». En classe de 1ère et de terminale, les notions développées pourront être reprises dans les autres grandes thématiques « Le corps humain et la santé » ou « Enjeux contemporains de la planète ». Ainsi, il s'agit de donner une explication scientifique cohérente du vivant et de son évolution mais également, d'aborder les grands enjeux sociétaux.

Vision synoptique du thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire et limites

Cohérence avec le cycle 4

Le lien entre l'information génétique, les chromosomes et l'ADN est établi. Les élèves savent que l'information génétique est contenue dans le noyau des cellules, qu'elle se présente sous forme de chromosomes composés d'ADN (la structure moléculaire n'est pas abordée, seul le nom de la molécule est cité).

Les caractères d'un individu dépendent de l'information génétique transmise par les parents et de l'environnement (des exemples simples sont traités, comme l'influence de la température sur la couleur du pelage de certains animaux ou de l'influence de l'exposition au soleil sur la coloration de la peau).

Ils apprennent à repérer les caractères propres à une espèce et la diversité que ces caractères peuvent prendre au sein d'une même population. Les notions de « gène » (fragment de chromosome qui détermine un caractère), « d'allèle » et de « mutation » sont abordées.

Ils apprennent que le nombre d'individus au sein d'une population peut subir des variations (dynamique des populations) en fonction des modalités de la reproduction (sexuée/ asexuée) et des facteurs du milieu (richesse en nourriture, présence de prédateurs, conditions du milieu comme la disponibilité en eau, la température, la pollution…).

Au niveau de la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre, les divisions cellulaires mitose et méiose sont abordées dans le but d'expliquer la stabilité génétique des individus d'une génération à l'autre. **Seules les phases de division cellulaire permettant d'expliquer le maintien du nombre de chromosomes sont expliquées.**

- Le comportement des chromosomes en 1ère division de la méiose permet d'expliquer la réduction du nombre de chromosomes dans les gamètes. Ce nombre, propre à l'espèce, est rétabli au moment de la fécondation.
- Le comportement des chromosomes en anaphase permet d'expliquer le maintien du nombre de chromosomes lors des mitoses qui interviennent pour former le nouvel individu à partir de la cellule œuf ou lors de la reproduction asexuée.

La reproduction sexuée est également source de diversité par les mécanismes liés à la méiose et à la fécondation. L'étude s'effectue uniquement à **l'échelle du phénotype** : on montre par exemple que dans un élevage (petits mammifères, drosophiles…), la descendance peut présenter des combinaisons de caractères différents de celles observées chez les parents. On en déduit que des brassages se sont effectués lors de la formation des gamètes et de la fécondation. Les mécanismes chromosomiques des brassages ne sont pas au programme.

Au niveau du collège, les études sont menées uniquement au niveau du phénotype macroscopique. Des explications sont données par l'étude de mécanismes à l'échelle cellulaire (comportement des chromosomes lors des divisions). C'est au lycée que les mécanismes seront expliqués au niveau moléculaire (ADN).

En seconde, la structure de la molécule d'ADN est étudiée. Les élèves savent depuis le collège, que toutes les cellules d'un organisme possèdent la même information génétique ; ils apprennent en classe de seconde qu'une partie seulement de l'ADN s'exprime dans les cellules spécialisées définissant ainsi le type de métabolisme de la cellule en fonction notamment de leur équipement enzymatique. Cette approche est différente de celle des anciens programmes de seconde où l'universalité de l'ADN représentait un argument en faveur de l'unité du vivant.

Retrouvez éduscol sur

Rappels

Les attendus de fin de cycle 4

Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps.

Connaissances et compétences associées

- Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus.
- Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement.
- Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité.
  - Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; diversité des relations interspécifiques.
  - Diversité génétique au sein d'une population ; héritabilité, stabilité des groupes.
  - ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

Idées clés pour enseigner

Parties du sous-thème	Des notions…
Les divisions cellulaires des eucaryotes.	**Des notions à consolider** [1] • La mitose est une reproduction conforme. • La méiose est à l'origine de cellules qui contiennent la moitié des chromosomes par rapport à la cellule initiale.
	Des notions nouvelles à batir • Notions de cellules haploïdes et diploïdes. • Les différentes phases du cycle cellulaire des cellules eucaryotes. • La notion de fuseau mitotique ou méiotique.
La réplication de l'ADN.	**Des notions à consolider** • Une cellule qui entre en division possède des chromosomes à deux chromatides (ou bras) identiques.
	Des notions nouvelles à batir • Chaque chromatide est formée d'une molécule d'ADN. • La réplication semi-conservative de l'ADN, rôle de la polymérase. • La notion de clone cellulaire.

1. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Retrouvez éduscol sur

Parties du sous-thème	Des notions…
Mutations de l'ADN et variabilité génétique.	**Des notions à consolider** • Les mutations sont des phénomènes aléatoires. • Elles sont à l'origine de la diversité génétique observée dans une population (apparition de nouveaux allèles).
	Des notions nouvelles à batir • Étude des mutations à l'échelle moléculaire : erreurs lors de la réplication de l'ADN, molécule endommagée en dehors de sa réplication. • Le rôle des agents mutagènes sur la fréquence des mutations. • Les mécanismes de réparation. • Les différentes conséquences en fonction des cellules mutées.
L'histoire humaine lue dans son génome.	**Des notions à consolider** • Une population est caractérisée par une diversité génétique. De nombreux caractères existent sous des formes différentes. • Des liens de parenté peuvent être établis au sein des grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens.
	Des notions nouvelles à batir • La comparaison de séquences génomiques entre individus fossiles et actuels. • Retracer les principales étapes de l'histoire humaine récente.
L'expression du patrimoine génétique.	**Des notions à consolider** • Les gènes, fragments de chromosomes ou d'ADN, déterminent les caractères de l'individu. • La structure moléculaire de l'ADN.
	Des notions nouvelles à batir • L'information génétique se présente sous forme d'une séquence de nucléotides. • Le phénomène de transcription, le rôle de l' ARNm. • Le phénomène de traduction, la notion de codon, de code génétique. • Le phénotype dépend du patrimoine génétique de la cellule et de son expression sous l'influence de facteurs internes et externes.
Les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques.	**Des notions à consolider** • Les enzymes sont des molécules qui facilitent les réactions chimiques s'effectuant dans l'organisme. Au collège, les élèves ont évoqué les enzymes dans le cadre de la digestion des aliments et de leur simplification en nutriments.
	Des notions nouvelles à batir • La spécificité enzymatique en terme de substrat et en terme de réaction catalytique. • La notion de produit.

Retrouvez éduscol sur

Précisions - limites	
Les divisions cellulaires des eucaryotes	• Les divisions cellulaires (mitose et méiose) sont ici abordées dans l'objectif d'étudier le maintien des caractères au cours des générations, notamment le nombre de chromosomes caractéristiques de l'espèce. Les mécanismes à l'origine de la diversité génétique engendrée par la méiose (brassages intra et interchromosomique) seront abordés en classe de terminale. • Le fuseau de division est simplement évoqué. Les mécanismes cellulaires concernant sa mise en place, son rôle, sa composition, sont hors programmes.
La réplication de l'ADN	• On limite l'étude à la synthèse des brins néoformés par complémentarité avec les brins de la molécule initiale sous l'action de l'ADN polymérase.
Mutations de l'ADN et variabilité génétique	• On différencie clairement les mutations spontanées et induites. • Aucune exhaustivité n'est attendue au niveau des différents types de mutations ou des agents mutagènes. • Les mécanismes de réparation de l'ADN sont présentés mais ne sont pas détaillés.
L'histoire humaine lue dans son génome	• Il ne s'agit pas ici d'étudier la lignée humaine mais de montrer comment les techniques actuelles permettent de comparer les génomes des individus actuels et fossiles et de retracer quelques grands évènements de l'histoire récente de l'Homme (migrations, métissages, élevage…).
L'expression du patrimoine génétique	• On se limite à l'intervention des ARNm en tant qu'intermédiaires entre le gène et la protéine. Les mécanismes moléculaires faisant intervenir les ARNr et les ARNt sont hors programme. On insistera sur la notion d'information génétique, représentée par la séquence de nucléotides de l'ADN et de l'ARNm, et le codage de cette information sous forme de triplets de nucléotides déterminant la séquence d'acides aminés de la protéine.
Les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques	• On se limite à étudier la spécificité de l'enzyme pour son substrat et pour la réaction catalytique. Les facteurs influençant l'activité enzymatique (compétition au site actif, influence des facteurs du milieu sur la vitesse de la réaction enzymatique) sont hors programme.

Retrouvez éduscol sur

Le sous-thème dans un tableau synthétique

L'information génétique, sa transmission, son expression, sa variation	
Objectifs et points de vigilance	**Les rôles de la méiose et de la mitose dans le maintien des caractères d'une génération à l'autre :** • en étudiant au niveau moléculaire la réplication semi-conservative de l'ADN qui précède toute division cellulaire ; • en étudiant le comportement des chromosomes lors des divisions cellulaires ; • en comprenant comment la méiose assure la production de cellules haploïdes. La diploïdie étant rétablie lors de la fécondation.
	Le rôle des mutations dans la variabilité génétique observée au sein d'une population : • en comprenant qu'une mutation est une modification aléatoire de la séquence de nucléotide d'un gène provoquant une modification de l'information portée par ce gène ; • en comprenant que certains facteurs peuvent augmenter la fréquence des mutations ; • en déterminant les conditions nécessaires pour que la mutation persiste et soit transmise à la descendance.
	Le lien entre génotype et phénotype de l'individu : • en étudiant au niveau moléculaire le codage de l'information génétique et son expression dans une cellule par le biais de la transcription et de la traduction ; • en étudiant le rôle de molécules responsables de la spécificité cellulaire, telles que les enzymes.
	L'utilité des connaissances actuelles pour reconstituer l'histoire humaine : • en montrant que la comparaison de séquences génomiques entre espèces actuelles et fossiles permet de reconstituer les principales étapes de l'histoire humaine.

Quelques pistes pour problématiser

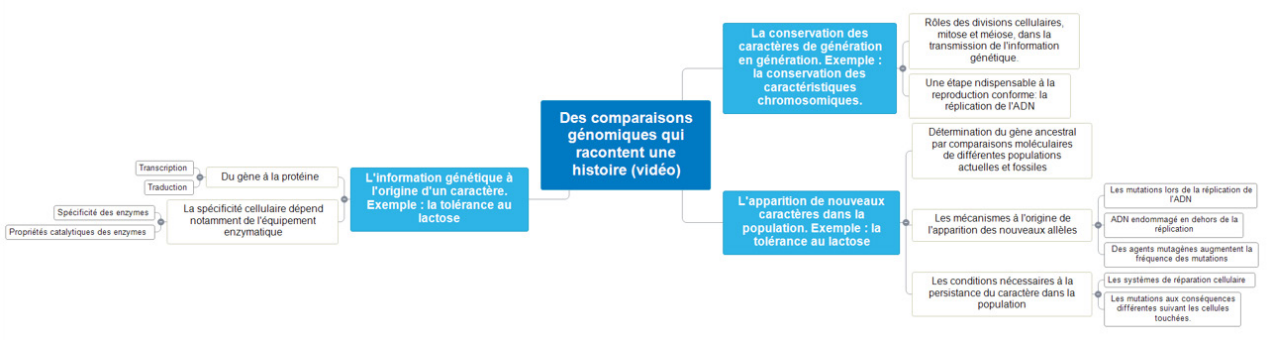
Selon les démarches d'investigation engagées (ou initiées lors d'une problématisation), les différentes parties du sous-thème peuvent être abordées dans des ordres divers.

Le programme de 1ère doit s'appuyer sur les connaissances acquises au collège (transmission de l'information génétique au cours des générations et mécanismes à l'origine de la diversité des individus) et en seconde (spécialisation des cellules, notamment via leur équipement enzymatique).

A titre d'exemple[2] la carte heuristique ci-dessous part d'une problématisation possible : l'exploitation d'une vidéo montrant comment la paléogénomique permet de retracer une partie de l'histoire humaine, amène le professeur à introduire plusieurs problématiques qui serviront de fil rouge tout au long du thème.

- **Comment les caractères propres à l'espèce sont-ils conservés de génération en génération ?** L'étude des génomes anciens, réalisée sur des fossiles, montre qu'une partie non négligeable de notre génome a été conservée au cours de notre histoire. L'étude des divisions cellulaires et de leurs rôles respectifs dans le maintien des caractères permettra de répondre à cette première question. On montrera le rôle principal de la réplication de l'ADN.
- **Comment de nouveaux caractères peuvent-ils apparaitre au sein d'une population ?** La vidéo présente des cas de métissage entre les populations humaines. On pourra également s'interroger sur l'apparition d'un nouveau caractère et de sa persistance dans certaines populations. Dans la carte heuristique présentée, on s'intéresse à l'apparition dans la population humaine des allèles responsables de la tolérance au lactose. D'autres exemples peuvent bien sûr être traités.
- **Quel est le lien entre le génome et les caractères**. Comment l'ADN peut-il être responsable d'un caractère ? Ce sera l'occasion d'étudier les phénomènes de transcription et de traduction permettant la synthèse d'une protéine. L'étude peut être réalisée au travers de la synthèse d'une enzyme, la lactase, dont on étudiera par la suite la spécificité.

Exemple de vidéo qui pourrait être utilisée pour introduire l'étude de ce thème : « Les dernières étapes de l'évolution humaine et le peuplement de l'Eurasie vues par la paléogénomique » - Site « PlanetVie ».



Cliquer ici pour obtenir l'image en taille réelle

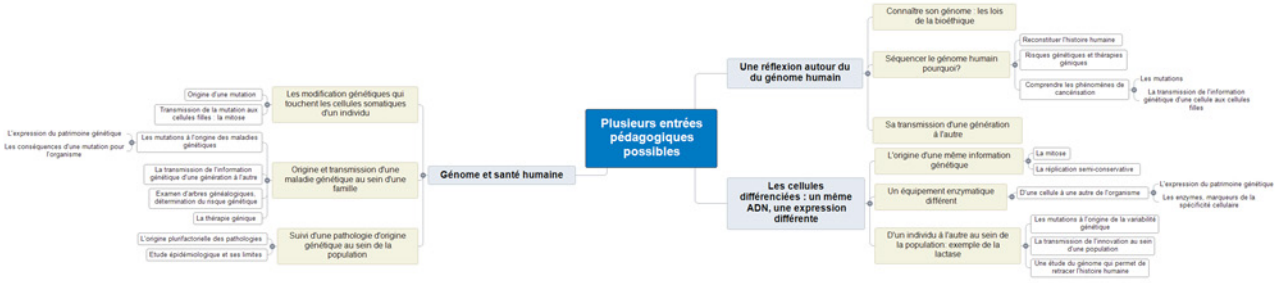
2. **L'exemple présenté ici n'a pas vocation à être modélisant** – il a vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisati des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits.

D'autres approches pédagogiques possibles.

Cette partie du programme peut être mise en relation avec des notions abordées dans les classes précédentes, comme la notion de cellules différenciées, ou avec des notions vues dans d'autres parties du programme de 1ère, comme la santé humaine.

Suivant l'entrée choisie par le professeur, plusieurs points de la transmission et de l'expression du patrimoine génétique peuvent être traités dans des contextes concrets.

La carte heuristique présentée ci-dessous montre des approches possibles et ne se veut pas exhaustive.



Cliquer ici pour obtenir l'image en taille réelle

Quelques ressources

Sitographie

Un site en anglais pour se remettre dans l'histoire des découvertes en génétique : sciencedirect.com

Le site internet du Collège de France

L'encyclopédie universalis

Ifé – Plateforme ACCES :

- mutations, mutagènes et réparation de l'ADN
- l'ADN support de l'information génétique
- un dossier très complet avec des exemples d'exploitation pédagogique sur la tolérance au lactose (son origine génétique, les études paléogénomiques qui permettent de déterminer le phénotype ancestral, le développement de l'élevage dans l'histoire humaine…)

Le site de National Geographic : « Le concept de races, une hérésie scientifique »

Le site PlanetVie : « Évolution humaine et peuplement de l'Eurasie vues par la paléogénomique »

Le projet « LeCHE », projet de recherche européen sur les débuts de l'élevage et la consommation de lait.

Des ressources numériques.

Téléchargement d'un logiciel permettant de construire un langage python

Logiciel Geniegen

Logiciel Rastop

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPÉCIALITÉ

LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME IMMUNITAIRE HUMAIN

Thème

Thème 3 - Corps humain et santé.

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de ce thème dans l'enseignement des SVT au lycée : enjeux éducatifs - notions clés à renforcer ou à construire - points de vigilance - cohérence et complémentarité des programmes en articulation avec le cycle 4 pour aider à la prise en compte de la progressivité des apprentissages et à l'approche spiralaire – pistes pour problématiser - sitographie.

Mots-clés

Organes lymphoïdes, macrophages, phagocytose, médiateurs chimiques de l'inflammation, interleukines, récepteurs de surface, réaction inflammatoire, médicaments anti-inflammatoires. Cellules présentatrices de l'antigène, lymphocytes B, plasmocytes, immunoglobulines (anticorps), lymphocytes T CD4, lymphocytes T auxiliaire, lymphocytes T CD8, lymphocytes T cytotoxiques ; sélection, amplification (expansion) et différenciation clonale.

Références au programme

Le fonctionnement du système immunitaire humain.
L'immunité innée.
L'immunité adaptative.
L'utilisation de l'immunité adaptative en santé humaine.

Enjeux éducatifs

Les études menées dans le cadre de la mise en œuvre des thématiques liées au domaine de l'immunologie contribuent fortement à l'éducation à la santé[1]. Elles sont également l'occasion de découvrir l'épidémiologie.

Au collège

L'élève met en relation des connaissances sur le monde microbien et sur le système immunitaire afin de développer des **comportements responsables en matière de santé**. Une approche systémique est privilégiée : les processus biologiques sont abordés dans le cadre plus large des enjeux en matière de santé.

1. Portail de l'éducation à la santé – Eduscol - https://eduscol.education.fr/pid23365/promotion-de-la-sante.html

L'étude des thématiques en lien avec la santé contribuent à la formation des élèves, notamment dans le cadre des domaines 3 et 4 du socle commun de connaissances, de compétences et de culture (domaine 3 : « la formation de la personne et du citoyen » - domaine 4 « les systèmes naturels et techniques »). Cette formation vise à éclairer les choix et l'engagement éthique des personnes. Elle développe notamment le sens critique et le sens des responsabilités individuelles et collectives. Dans ce cadre, les connaissances scientifiques permettent de différencier ce qui relève d'un fait et d'une argumentation scientifique de ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance. Les sciences font réinvestir des connaissances fondamentales pour comprendre et adopter un comportement responsable vis-à-vis de la santé notamment.

Au lycée

Les études menées dans le cadre de la mise en œuvre du sous-thème « micro-organismes et santé » ont pour objectif de poursuivre les objectifs du collège : saisir comment la santé se définit aujourd'hui dans une **approche globale intégrant l'individu dans son environnement en prenant en compte les enjeux de santé publique**.

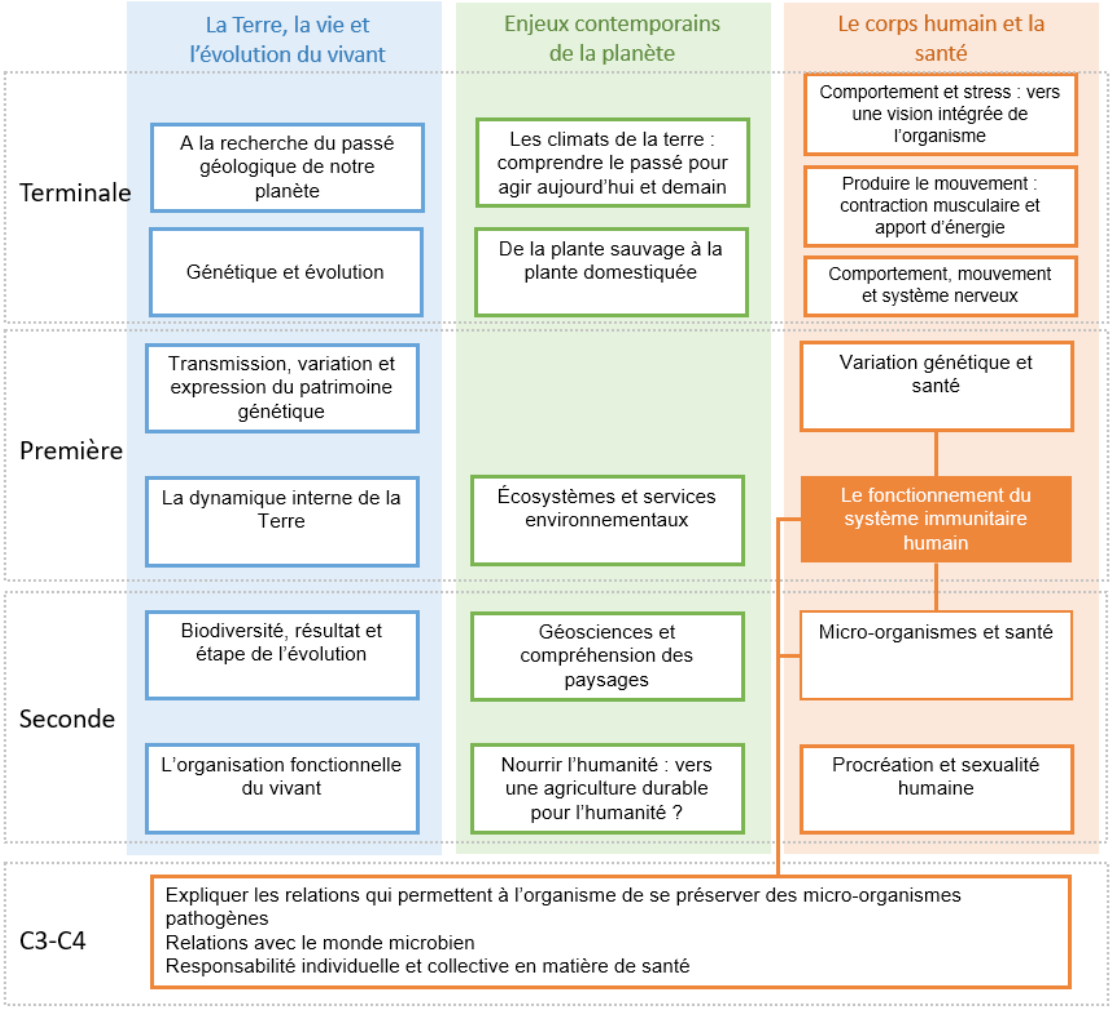
Dans le domaine de la santé, une très grande diversité de messages sont véhiculés au sein de la société, et **l'exercice de l'esprit critique** est particulièrement nécessaire, que ce soit face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences, ou tout simplement pour **distinguer opinions, croyances et faits scientifiques**.

Les enjeux éducatifs sont alors particulièrement importants : développement de l'esprit critique, argumentation scientifiquement fondée, enjeux de santé publique, problématiques nouvelles en lien avec les avancées technologiques et thérapeutiques. Il peut être très intéressant dans le cadre de cette dernière partie de programme de mettre les élèves en situation de **réaliser un débat**, une **analyse critique de productions de médias** ou encore **une médiation scientifique**. Cette thématique est l'occasion de travailler des compétences plus spécifiquement en lien avec l'éducation aux médias et à l'information.

Les études menées dans le cadre des thématiques en lien avec la santé sont également l'occasion de découvrir les **métiers actuels ou émergents** liés aux domaines de la santé.

Vision synoptique du thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire et limites

Cohérence avec les cycles 3 et 4

En cycle 3, les élèves apprennent les **règles d'hygiène** simples qui sont abordées en s'appuyant sur l'alimentation humaine. Ils effectuent une première approche du monde microbien. Ils comprennent que certains micro-organismes sont bénéfiques (production d'aliments) mais que d'autres sont pathogènes (prolifération dans certaines conditions). Ils apprennent les gestes simples pour limiter leur prolifération.

En cycle 4, les élèves complètent leurs connaissances sur le **monde microbien**, notamment sur l'existence d'un **microbiote humain et le rôle de celui-ci dans notre santé**, son importance dans les fonctions de nutrition et de défense de l'organisme. Ils identifient la nécessité d'un équilibre entre hygiène et maintien du microbiote pour le bon fonctionnement de l'organisme. L'élève est amené à découvrir l'intérêt et les logiques des politiques de santé publique. L'étude du fonctionnement du système immunitaire dans sa globalité, leur permet de compléter leurs connaissances sur les règles d'hygiène (antisepsie, asepsie) et de déterminer **l'intérêt des politiques de prévention**, de lutte contre la contamination et/ou de l'infection (antibiotiques, vaccination). Ils prennent conscience que les choix individuels peuvent impacter la santé de la population.

Retrouvez éduscol sur :

Rappels

Attendus de fin de cycle 4 (programmes de SVT)

- Relier la connaissance des processus biologiques aux enjeux liés aux comportements responsables individuels et collectifs en matière de santé.

Connaissances et compétences associées

- Relier le monde microbien hébergé par notre organisme et son fonctionnement.
- Expliquer les réactions qui permettent à l'organisme de se préserver des micro-organismes pathogènes.
- Argumenter l'intérêt des politiques de prévention et de lutte contre la contamination et/ou l'infection.

Ressources d'accompagnement de la mise en œuvre des programmes de cycle 4 en SVT

idées clés pour enseigner

Cohérence avec la classe de seconde

En seconde : les élèves sont amenés à mettre en relation ces nouvelles connaissances et les avancées de la médecine pour **comprendre les enjeux actuels de santé publique**, en France mais également au niveau mondial. Ils développent ainsi leur sens des responsabilités en matière de santé. Les connaissances sur le système immunitaire et le monde microbien sont complétées :

- interactions microbiote humain/organisme et rôle indispensable du microbiote humain dans l'immunité et la digestion ;
- lien entre connaissances d'un pathogène / moyen de lutte contre ce pathogène / comportement permettant de limiter sa propagation.

Les acquis sur les écosystèmes, leur fonctionnement et la notion d'équilibre dynamique seront particulièrement utiles dans les études menées à propos du microbiote humain. **Approcher les questions de santé liées au microbiote humain de façon systémique en permettant aux élèves d'appuyer leur raisonnement sur un raisonnement basé sur le fonctionnement d'un écosystème simple du microbiote intestinal par exemple est particulièrement pertinent.** La question de certains effets de l'usage d'antibiotiques pourra être évoqué et argumenté scientifiquement à cette occasion.

En classe de 1ère

Parties du sous-thème	Des notions….
L'immunité innée	**Des notions à consolider** [1] • Les phagocytes responsables de la phagocytose, étape indispensable lors de la contamination mais aussi en fin de réaction immunitaire.
	Des notions nouvelles à batir • Une immunité innée présente chez tous les animaux. • Elle fait intervenir un nombre conséquent de cellules capables de reconnaitre l'élément étranger et de molécules circulantes. • Elle est rapidement mobilisée et dans des situations diverses. • Elle est à l'origine de la réaction inflammatoire, indispensable au déclenchement de la réaction adaptative.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de seconde : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés

Parties du sous-thème	Des notions….
L'immunité adaptative	**Des notions à consolider** • Certains leucocytes sont capables de produire des anticorps qui neutralisent l'antigène et facilitent la phagocytose. • D'autres leucocytes sont capables de détruire les cellules infectées par un virus. • Les cellules mémoires assurent une protection de l'organisme à plus long terme.
	Des notions nouvelles à batir • Une immunité présente uniquement chez les vertébrés. • Une immunité spécifique qui fait intervenir un nombre conséquent de cellules particulières et de molécules circulantes, notamment les anticorps. • Des mécanismes particuliers à l'origine de l'immense diversité de molécules spécifiques produites pour lutter contre la très grande diversité des agents immunogènes. • Une nécessaire élimination des cellules et anticorps incompatibles avec le soi. • Une réaction qui nécessite du temps pour la sélection, l'amplification et la différenciation clonale des cellules spécifiques. • La mise en place des cellules mémoires à longue durée de vie. • Les capacités immunitaires de l'organisme varient tout au long de la vie en fonction des antigènes rencontrés naturellement ou par vaccination. Elles faiblissent chez les personnes âgées.
L'utilisation de l'immunité adaptative en santé humaine	**Des notions à consolider** • La vaccination préventive assure une protection durable et spécifique de l'organisme en provoquant la formation d'un réservoir de cellules mémoires spécifiques.
	Des notions nouvelles à batir • Taux de couverture vaccinale : seuil nécessaire à la protection de la population. • Des procédés d'immunothérapie (vaccins thérapeutiques et anticorps monoclonaux) pour lutter contre certains cancers.

Précisions - Limites	
L'immunité innée	L'étude se limite à **un exemple** qui doit permettre à l'élève de comprendre comment la réaction se met en place. Sont hors programme, les descriptions : • des récepteurs membranaires des cellules de l'immunité, • des différents signaux de dangers, • des motifs moléculaires des pathogènes. La mise en perspective évolutive de l'immunité est signalée mais ne fait pas l'objet d'une étude particulière.

Précisions - Limites	
L'immunité adaptative	L'étude se limite à **un cas d'une infection virale** (la grippe par exemple). C'est l'opportunité ici de signaler le mode d'action du VIH. Les mécanismes de recombinaison ne sont pas attendus. Le CMH est évoqué mais non détaillé. Les différentes classes d'immunoglobulines ne sont pas à traiter.
L'utilisation de l'immunité adaptative en santé humaine	Aucune description exhaustive des différents types de vaccins n'est attendue. Le rôle des adjuvants seront évoqués dans le déclenchement de la réaction adaptative.

Le sous-thème en trois tableaux synthétiques

L'immunite innee et adaptative	
L'élève comprend…	**Que l'immunité innée :** • constitue une première réponse à la présence d'un élément étranger dans l'organisme ; • qu'elle est rapide, non spécifique et indispensable au déclenchement de l'immunité adaptative ; • est responsable de la réaction inflammatoire observée lors d'une infection. Une réaction dont les symptômes peuvent être limités par des médicaments anti-inflammatoires dans certains cas.
Objectifs	**Les caractéristiques de l'immunité adaptative** • elle est plus tardive à se mettre en place et est spécifique ; • elle est efficace contre une infinité d'éléments étrangers que notre organisme est susceptible de rencontrer grâce à des mécanismes combinatoires complexes ; • elle évolue au cours de la vie et que les personnes âgées sont plus vulnérables ; • elle garde en mémoire les agents immunogènes rencontrés grâce aux cellules mémoires.

L'utilisation de l'immunite adaptative en sante humaine	
Objectifs	**Les connaissances scientifiques ont permis de développer des techniques de prévention** • par des études épidémiologiques et la détermination du taux de couverture vaccinale ; • par des campagnes de prévention et de vaccination des populations, notamment des individus les plus vulnérables.
	Les connaissances scientifiques permettent d'envisager des techniques thérapeutiques • par l'utilisation de vaccins thérapeutiques ; • par l'obtention et l'utilisation d'anticorps monoclonaux dans le traitement de certains cancers.

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société sont particulièrement intéressantes. En outre, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, etc. Elle peut être conçue par l'enseignant seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

A titres d'exemples[3], les deux cartes heuristiques ci-dessous déclinent des problématisations possibles :

Exemple 1 – « chaque année, le virus de la grippe est responsable d'une épidémie saisonnière. Comment les connaissances actuelles permettent-elles de protéger les populations contre ce virus ? »

Pour répondre à cette question, les élèves seront amenés à :
- étudier les modalités de propagation du virus ;
- déterminer les mécanismes mis en jeu dans l'organisme qui permettent de lutter efficacement contre le virus pour beaucoup de personnes (immunité innée et acquise) ;
- envisager la vulnérabilité de certains individus et comprendre l'intérêt des politiques de prévention et de vaccination des populations.

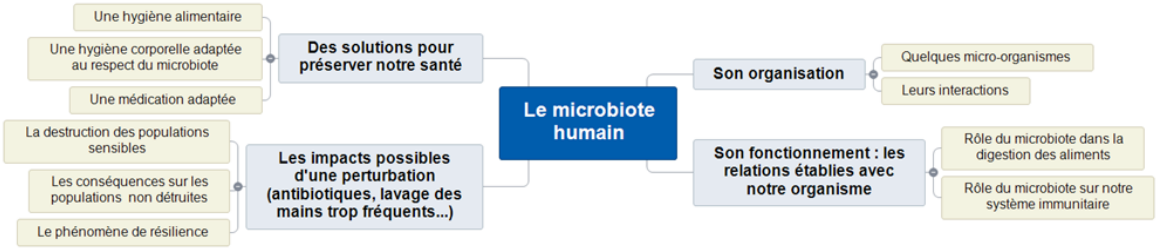
Dans un deuxième temps, l'étude des avancées technologiques leur permettront d'appréhender plus largement les grands enjeux actuels en matière de santé humaine, en abordant notamment la lutte contre certains cancers.

Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

3. **Les exemples présentés ici n'ont pas vocation à être modélisants** – ils ont vocation à montrer qu'un outil tel qu'une carte heuristique peut contribuer à l'organisation des idées, à leur structuration, pour servir notamment de trame aux démarches qui vont être mises en œuvre, aux scénarios pédagogiques qui vont être construits

Exemple 2 – « envisager les conséquences d'une perturbation liée à notre comportement sur le microbiote et de chercher des réponses réalistes pour préserver cet écosystème bien particulier ».

Dans l'exemple proposé ici, l'élève doit appréhender la complexité du microbiote et de ses relations avec notre organisme pour mieux comprendre les conséquences prévisibles de la perturbation.



Cliquer ici pour obtenir la carte heuristique en taille réelle

Sitographie

Immunologie

- INSERM - Institut national de la santé et de la recherche médicale - des articles scientifiques sur la recherche médicale en matière de santé humaine, des fiches métiers pour découvrir le parcours des chercheurs.
- INPES - Institut national de prévention et d'éducation pour la santé - des articles, des vidéos, des outils pédagogiques pour la prévention et la promotion de la santé.
- ENS Lyon - Dossier thématique sur l'immunité et la vaccination : des conférences en ligne, des outils numériques à exploiter en classe, des articles de presse…
- Réseau Canope - Courte vidéo sur la technique d'obtention des anticorps monoclonaux
- Institut de veille sanitaire - Des données épidémiologiques nationales et par région pour suivre une épidémie.
- Institut Pasteur
- IRD (Institut de recherche et de développement).

Éducation à la santé

- Éduscol - Promotion de la santé à l'école.
- Éduscol - Parcours éducatif de santé.
- Éduscol - Écoles promotrices de santé.
- UNESCO - Les objectifs de développement durable (ODD) (objectif 3 « bonne santé et bien-être » – Objectif 6 « eau propre et assainissement »).
- UNESCO - Les objectifs d'apprentissage des ODD.
- OMS Organisation mondiale de la santé.

Éducation aux médias et à l'information

- Éduscol - Éducation aux média et à l'information

Annexe

Programme d'enseignement scientifique de terminale générale

Préambule

L'ensemble des disciplines scientifiques concourt à la compréhension du monde, de son organisation, de son fonctionnement et des lois qui le régissent, ainsi qu'à la maîtrise des outils et des technologies. L'histoire des sciences raconte une aventure de l'esprit humain, lancé dans une exploration du monde (la science pour savoir) et dans une action sur le monde (la science pour faire).

Le développement des sciences et des technologies a profondément modifié les conditions de vie des êtres humains et les sociétés dans lesquelles ils vivent. Cela s'est traduit par d'importants progrès, dans les domaines de l'alimentation, de la santé, de la communication, des transports, etc. Grâce à ses inventions, l'être humain a désormais les moyens d'agir sur son environnement immédiat. Par son impact, l'espèce humaine modifie également les équilibres à l'échelle globale de la planète. La présence humaine modifie le climat ; ses déchets s'accumulent et son utilisation des ressources naturelles est massive. Si l'espèce humaine n'est pas la première forme de vie à transformer la planète, c'est sans aucun doute la première qui s'en préoccupe.

Grâce, notamment, à l'approche scientifique, l'être humain dispose des outils intellectuels nécessaires pour devenir un acteur conscient et responsable de la relation au monde et de la transformation des sociétés. L'approche scientifique nourrit le jugement critique et rencontre des préoccupations d'ordre éthique. Ainsi, c'est de façon rationnellement éclairée que chacun doit être en mesure de participer à la prise de décisions, individuelles et collectives, locales ou globales.

La science construit peu à peu un corpus de connaissances grâce à des méthodes spécifiques : elle élabore un ensemble de théories, établit des lois, invente des concepts, découvre des mécanismes ; cet ensemble se perfectionne par la confrontation à des faits nouvellement connus, souvent en lien avec l'évolution des techniques. Le savoir scientifique est une construction collective qui a une histoire. Il est fondé sur le raisonnement rationnel et la recherche de causes matérielles ; il se développe parfois en réfutation des intuitions premières au-delà desquelles le scientifique doit s'aventurer.

La compréhension de l'histoire des savoirs scientifiques et de leur mode de construction, la pratique véritable d'une démarche scientifique (y compris dans sa dimension concrète) développent des qualités de l'esprit utiles à tous. En fréquentant la science, chacun développe son intelligence, sa curiosité sa raison, son humilité devant les faits et les idées pour enrichir son savoir.

Le but essentiel de l'enseignement scientifique est de dispenser une formation scientifique générale pour tous les élèves, tout en offrant un point d'appui pour ceux qui poursuivent et veulent poursuivre des études scientifiques. Il ne vise pas à construire un savoir encyclopédique mais cherche plutôt à atteindre trois buts intimement liés :

- contribuer à faire de chaque élève une personne lucide, consciente de ce qu'elle est, de ce qu'est le monde et de ce qu'est sa relation au monde ;
- contribuer à faire de chaque élève un citoyen ou une citoyenne responsable, qui connaît les conséquences de ses actions sur le monde et dispose des outils nécessaires pour les contrôler ;
- contribuer au développement en chaque élève d'un esprit rationnel, autonome et éclairé, capable d'exercer une analyse critique face aux fausses informations et aux rumeurs.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Programme

Pour atteindre les objectifs définis en préambule, ce programme précise d'une part des objectifs généraux de formation et présente d'autre part un ensemble d'objectifs thématiques dont les contenus sont largement interdisciplinaires.

Les premiers ont pour but d'aider les élèves à cerner ce que la connaissance scientifique a de spécifique, dans ses pratiques, dans ses méthodes d'élaboration et dans ses enjeux de société. Les objectifs thématiques visent à consolider la culture scientifique des élèves tout en leur fournissant les éléments d'une pratique autonome du raisonnement scientifique dans des contextes variés.

Ces deux aspects sont complémentaires. Les professeurs décident comment satisfaire aux objectifs de formation générale en traitant les contenus de chaque thème. Ils doivent veiller à respecter un juste équilibre entre ces deux composantes de l'enseignement.

Les objectifs généraux de formation et les suggestions pédagogiques qui suivent concernent les deux années du cycle terminal dont les programmes constituent un ensemble cohérent.

Objectifs généraux de formation

L'enseignement scientifique cherche à développer des compétences générales par la pratique de la réflexion scientifique. **Les objectifs ci-dessous énoncés constituent une dimension essentielle de l'enseignement scientifique et ne doivent pas être négligés au profit du seul descriptif thématique.** Ils sont regroupés autour de trois idées, d'ailleurs liées entre elles.

- **Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration**

Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à expliquer la réalité par des causes matérielles.

Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. C'est lentement qu'une certitude raisonnable s'installe et se précise, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction.

- **Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques**

Au cours de son activité de production du savoir, le scientifique met en œuvre un certain nombre de pratiques qui, si elles ne sont pas spécifiques de son travail, en sont néanmoins des aspects incontournables.

Quelques mots-clés permettent de les présenter : observer, décrire, mesurer, quantifier, calculer, imaginer, modéliser, simuler, raisonner, prévoir le futur ou remonter dans le passé.

Cet enseignement contribue au développement des compétences langagières orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit, chaque fois que l'on met en œuvre une authentique pratique scientifique, de l'expliciter et de prendre conscience de sa nature.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

- **Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement**

Les sociétés modernes sont profondément transformées par la science et ses applications technologiques. Leurs effets touchent l'alimentation (agriculture et agroalimentaire), la santé (médecine), les communications (transports, échange d'information), l'apprentissage et la réflexion (intelligence artificielle), la maîtrise des risques naturels et technologiques, la protection de l'environnement, etc.

La compréhension de ces transformations est indispensable à la prise de décision ; elle distingue l'approche purement scientifique d'autres approches (économiques, éthiques, etc.).

De même, les activités humaines exercent sur l'environnement des effets que la science permet de comprendre et de contrôler.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit de faire comprendre à chacun en quoi la culture scientifique est aujourd'hui indispensable pour saisir l'évolution des sociétés comme celle de l'environnement et de contrôler cette évolution.

En classe terminale, l'enseignement scientifique peut être mis en relation avec le programme de philosophie concernant les questions d'épistémologie et d'éthique, éclairées de façon complémentaire par ces deux enseignements.

Suggestions pédagogiques

Si les objectifs généraux ou thématiques sont clairement identifiés dans le programme, la manière de les atteindre relève de la liberté pédagogique du professeur ou de l'équipe de professeurs. Ce paragraphe ne limite nullement cette liberté pédagogique ni n'en canalise l'expression. Cependant, quelques principes pédagogiques généraux méritent d'être pris en compte pour atteindre les objectifs fixés.

- **Un enseignement en prise avec le réel complexe**

Le scientifique rend intelligible le monde en déchiffrant la réalité complexe, dont il extrait des éléments qu'il analyse et dont il élucide les interactions. Il est néanmoins opportun de saisir une ou des occasion(s) de montrer la complexité du réel lui-même. Une manière privilégiée de le faire consiste à travailler hors des murs de la classe ou de l'établissement (terrain naturel, laboratoire, entreprise, musée, etc.).

La prise en compte de la complexité impose aussi le croisement des approches de plusieurs disciplines, ce qui se traduit par le caractère interdisciplinaire de cet enseignement (y compris en dehors du champ scientifique). La rubrique *Histoire, enjeux, débats* offre des occasions de collaborations variées.

- **Une place particulière pour les mathématiques**

Selon Galilée, le grand livre de la Nature est écrit en langage mathématique. C'est dans cet esprit que les mathématiques trouvent leur place dans ce programme d'enseignement scientifique. De surcroît, l'omniprésence (quoique souvent invisible) des mathématiques dans la vie quotidienne impose aujourd'hui à tout individu de disposer de savoirs et de savoir-faire mathématiques pour réussir pleinement sa vie personnelle, professionnelle et sociale. Le traitement des thèmes figurant au programme permet de présenter des méthodes, modèles et outils mathématiques utilisés pour décrire et expliquer la réalité complexe du monde, mais aussi pour prédire ses évolutions. Parallèlement, le programme offre de nombreuses occasions de confronter les élèves à une pratique effective des mathématiques dans des contextes issus d'autres disciplines. Cette pratique leur permet à la fois de consolider, dans des contextes nouveaux, des compétences de calcul, de raisonnement logique et de représentation et d'exercer leur esprit critique en interrogeant les résultats d'un modèle mathématique.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

- **Une place réservée à l'observation et l'expérience en laboratoire**

Si des études documentaires ou la résolution d'exercices permettent la mise en œuvre d'une démarche scientifique, la pratique expérimentale des élèves est essentielle. En particulier, il est bienvenu, chaque fois que possible, de créer les conditions permettant un travail de laboratoire fondé sur diverses formes de manipulations et d'observations. Ainsi, l'élève se livre lui-même à la confrontation entre faits et idées et comprend, en la pratiquant, la construction du savoir scientifique.

- **Une place importante pour l'histoire raisonnée des sciences**

L'une des manières de comprendre comment se construit le savoir scientifique est de retracer le cheminement effectif de sa construction au cours de l'histoire des sciences. Il ne s'agit pas de donner à l'élève l'illusion qu'il trouve en quelques minutes ce qui a demandé le travail de nombreuses générations de chercheurs, mais plutôt, en se focalisant sur un petit nombre d'étapes bien choisies de l'histoire des sciences, de faire comprendre le rôle clé joué par certaines découvertes. Le rôle prépondérant joué parfois par tel ou tel chercheur sera souligné. Ce sera aussi l'occasion de montrer que l'histoire du savoir scientifique est une aventure humaine. Cela permettra d'interroger la dimension sociale et culturelle de la construction du savoir scientifique, en particulier la place des femmes dans l'histoire des sciences. Des controverses, parfois dramatiques, agitent la communauté scientifique. Ainsi, peu à peu, le savoir progresse et se précise.

- **Un usage explicité des outils numériques**

Des outils numériques variés trouvent des applications dans le cadre de l'enseignement scientifique : logiciels de calcul ou de simulation, environnements de programmation, logiciels tableurs, etc. Il convient d'associer leur utilisation par les élèves à la compréhension au moins élémentaire de leur nature et de leur fonctionnement.

Objectifs thématiques

La suite du programme se présente comme une succession de trois thèmes, présentant de forts enjeux de société. Ces thèmes sont au service des trois grands objectifs de formation (comprendre la nature du savoir scientifique et ses modes d'élaboration, identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques, identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et l'environnement). Sa structure est explicitée ci-dessous.

La rubrique *Histoire, enjeux, débats* établit d'une part quelques éléments historiques en rapport avec la thématique et identifie d'autre part des liens entre le thème et quelques questions socialement vives (économiques, éthiques, etc.). Il est demandé que dans chaque thème, la manière d'aborder les attendus fasse une place à au moins l'un des items de cette liste. Par exemple, on peut choisir de traiter un point selon une démarche historique, mettre l'accent sur ses implications éthiques, etc.

Une disposition en colonnes indique des savoirs et savoir-faire exigibles. Ce sont des objectifs précisément identifiés (notamment en vue de l'évaluation). Ils laissent au professeur ou à l'équipe de professeurs toute latitude pour construire la démarche. Cette double colonne indique les attendus spécifiques des thèmes. L'objectif de l'enseignement est à la fois de construire ces attendus, de former l'esprit et d'atteindre les objectifs généraux listés plus haut.

La rubrique *Prérequis et limites* montre comment sont mobilisés des acquis des classes antérieures et explicite des limites pour préciser les exigences du programme.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Thème 1 : Science, climat et société

L'atmosphère primitive de la Terre était différente de celle d'aujourd'hui. Sa transformation au cours des milliards d'années est liée aux processus géologiques et biologiques.

Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine modifie de manière significative la composition atmosphérique. Ces modifications affectent l'équilibre dynamique des enveloppes fluides de la Terre.

Les conséquences de l'activité humaine sur la composition atmosphérique, celles qui sont déjà observées et celles qui sont prévisibles, sont multiples et importantes, tant pour l'humanité que pour les écosystèmes. Les choix raisonnés des individus et des sociétés dans ce domaine s'appuient sur les apports des sciences et des technologies.

Histoire, enjeux et débats

- Les enjeux du réchauffement climatique global.
- Les acteurs des analyses climatiques : recherche et programmes mondiaux (Organisation Météorologique Mondiale, modèles climatiques) ; coordination (Nations-Unies) ; évaluation (Groupe Intergouvernemental pour l'Étude du Climat).
- Un enjeu mondial : l'océan.
- Les ressources et les utilisations de l'énergie dans le monde.
- Le trou dans la couche d'ozone : de sa découverte à des prises de décisions mondiales.

1.1 L'atmosphère terrestre et la vie

Depuis l'époque de sa formation, quasi concomitante avec celle du Soleil et des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface et de la composition de son atmosphère. Sa température de surface permet l'existence d'eau liquide, formant l'hydrosphère.

Aux facteurs physiques et géologiques (activité solaire, distance au Soleil, tectonique) s'est ajoutée l'émergence des êtres vivants et de leurs métabolismes. Un fragile équilibre est atteint, qui permet la vie et la maintient.

Savoirs	Savoir-faire
Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'atmosphère primitive était composée de N_2, CO_2 et H_2O. Sa composition actuelle est d'environ 78 % de N_2 et 21 % de O_2, avec des traces d'autres gaz (dont H_2O, CO_2, CH_4, N_2O).	Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.
Le refroidissement de la surface de la Terre primitive a conduit à la liquéfaction de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère initiale. L'hydrosphère s'est formée, dans laquelle s'est développée la vie.	Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression donnée à partir de son diagramme d'état.
Les premières traces de vie sont datées d'il y a au moins 3,5 milliards d'années. Par leur métabolisme photosynthétique, des cyanobactéries ont produit le dioxygène qui a oxydé, dans l'océan, des espèces chimiques réduites. Le dioxygène s'est accumulé à partir de 2,4 milliards d'années dans l'atmosphère. Sa concentration atmosphérique actuelle a été atteinte il y a 500 millions d'années environ.	Mettre en relation la production de O_2 dans l'atmosphère avec des indices géologiques (oxydes de fer rubanés, stromatolithes ...). Ajuster les équations des réactions chimiques d'oxydation du fer par le dioxygène.
Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.	
Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le	Interpréter des spectres

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

dioxygène stratosphérique peut se dissocier, initiant une transformation chimique qui aboutit à la formation d'ozone. Celui-ci constitue une couche permanente de concentration maximale située à une altitude d'environ 30 km. La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.	d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.
Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (tonne/an). Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés. L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre.	Analyser un schéma représentant le cycle biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.
Les combustibles fossiles se sont formés à partir du carbone des êtres vivants, il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont dites non renouvelables.	
Prérequis et limites L'enjeu est de comprendre les relations étroites entre l'histoire de la Terre et celle de la vie. Sans chercher à dater précisément chaque événement, il s'agit de connaître les différentes échelles de temps concernées. Aucun développement général sur les réactions d'oxydo-réduction n'est attendu.	
1.2 La complexité du système climatique Le système climatique et son évolution dans le temps résultent de plusieurs facteurs naturels et d'interactions entre océans, atmosphère, biosphère, lithosphère et cryosphère. Il est nécessaire de prendre en compte ces interactions à différentes échelles spatiales et temporelles (de l'année au million d'années voire davantage). Le système climatique présente une variabilité spontanée et réagit aux perturbations de son bilan d'énergie par des mécanismes appelés rétroactions. Les facteurs anthropiques ont des conséquences irréversibles à court terme.	
Savoirs	**Savoir-faire**
Un climat est défini par un ensemble de moyennes de grandeurs atmosphériques observées dans une région donnée pendant une période donnée. Ces grandeurs sont principalement la température, la pression, le degré d'hygrométrie, la pluviométrie, la nébulosité, la vitesse et la direction des vents.	
La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires…).	Distinguer sur un document des données relevant du climat d'une part, de la météorologie d'autre part.
La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines).	
La température moyenne de la Terre, calculée à partir de mesures *in situ* et depuis l'espace par des satellites, est l'un des indicateurs du climat global. Il en existe d'autres : volume des océans, étendue des glaces et des glaciers...	Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques.
Le climat de la Terre présente une variabilité naturelle sur	Identifier des traces géologiques

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

différentes échelles de temps. Toutefois, depuis plusieurs centaines de milliers d'années, jamais la concentration du CO_2 atmosphérique n'a augmenté aussi rapidement qu'actuellement.	de variations climatiques passées (pollens, glaciers).
Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ +1°C). Celui-ci est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO_2, CH_4, N_2O et vapeur d'eau principalement. Lorsque la concentration des GES augmente, l'atmosphère absorbe davantage le rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. En retour, il en résulte une augmentation de la puissance radiative reçue par le sol de la part de l'atmosphère. Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle. L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans.	Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques. Interpréter des documents donnant la variation d'un indicateur climatique en fonction du temps (date de vendanges, niveau de la mer, extension d'un glacier, ...). Analyser la variation au cours du temps de certaines grandeurs telles que l'augmentation de la teneur atmosphérique en CO_2, la variation de température moyenne, des indicateurs de l'activité économique mondiale.
L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs (rétroaction positive), dont : - l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ; - la décroissance de la surface couverte par les glaces et diminution de l'albédo terrestre ; - le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère. L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie. Cela conduit à une élévation du niveau de la mer causée par la dilatation thermique de l'eau. À celle-ci s'ajoute la fusion des glaces continentales. Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles. À court terme, un accroissement de la végétalisation constitue un puits de CO_2 et a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).	Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui sous-tendent la dynamique d'un système. Réaliser et interpréter une expérience simple, mettant en évidence la différence d'impact entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer. Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée, en supposant cette variation limitée à une couche superficielle d'épaisseur donnée.
Prérequis et limites Les notions d'équilibre radiatif de la Terre et d'effet de serre atmosphérique, étudiées en classe de première, sont mobilisées. L'étude des paramètres orbitaux de la Terre et de leur influence sur le climat n'est pas au programme.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

1.3 Le climat du futur

L'analyse du système climatique, réalisée à l'aide de modèles numériques, repose sur des mesures et des calculs faisant appel à des lois physiques, chimiques, biologiques connues. Assorties d'hypothèses portant sur l'évolution de la production des gaz à effet de serre, les projections issues de ces modèles dessinent des fourchettes d'évolution du système climatique au XXI siècle.

Savoirs	**Savoir-faire**
Les modèles climatiques s'appuient sur : - la mise en équations des mécanismes essentiels qui agissent sur le système Terre ; - des méthodes numériques de résolution. Les résultats des modèles sont évalués par comparaison aux observations *in situ* et spatiales ainsi qu'à la connaissance des paléoclimats. Ces modèles, nombreux et indépendants, réalisent des projections climatiques. Après avoir anticipé les évolutions des dernières décennies, ils estiment les variations climatiques globales et locales à venir sur des décennies ou des siècles.	Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques.
L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et modélisations numériques permet aujourd'hui de conclure que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine : CO_2 produit par la combustion d'hydrocarbures, la déforestation, la production de ciment ; CH_4 produit par les fuites de gaz naturel, la fermentation dans les décharges, certaines activités agricoles. Les modèles s'accordent à prévoir, avec une forte probabilité d'occurrence, dans des fourchettes dépendant de la quantité émise de GES : - une augmentation de 1,5 à 5°C de la température moyenne entre 2017 et la fin du XXIe siècle ; - une élévation du niveau moyen des océans entre le début du XXIe siècle et 2100 pouvant atteindre le mètre ; - des modifications des régimes de pluie et des événements climatiques extrêmes ; - une acidification des océans ; - un impact majeur sur les écosystèmes terrestres et marins.	Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet.

Prérequis et limites

Les notions déjà connues sur la photosynthèse et les écosystèmes sont mobilisées. Les équations mathématiques utilisées dans les modèles climatiques ne sont pas évoquées.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

1.4 Énergie, choix de développement et futur climatique

La consommation mondiale d'énergie fait majoritairement appel aux combustibles fossiles, principale cause du réchauffement climatique. Il est donc essentiel d'identifier, pour toute activité, individuelle ou collective, ou tout produit, l'impact sur la production de gaz à effet de serre. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur la santé, est importante. Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en œuvre.

Savoirs	**Savoir-faire**
L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominent. La consommation en est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus.	Utiliser les différentes unités d'énergie employées (Tonne Équivalent Pétrole (TEP), kWh…) et les convertir en joules – les facteurs de conversion étant fournis.
La croissance de la consommation globale (doublement dans les 40 dernières années) est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés. En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et dans une moindre mesure par le secteur agricole. Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (flux radiatif solaire, flux géothermique, puissance gravitationnelle à l'origine des marées).	Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, individuelle…). Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, centrale électrique, flux radiatif solaire…
La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone et également des aérosols et d'autres substances (N_2O, O_3, suies, produits soufrés), qui affectent la qualité de l'air respiré et la santé.	Calculer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles (l'équation de réaction et l'énergie massique dégagée étant fournies). À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions.
L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO_2 produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.	Comparer sur l'ensemble de leur cycle de vie les impacts d'objets industriels (par exemple, voiture à moteur électrique ou à essence). À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.
Les scénarios de transition écologique font différentes hypothèses sur la quantité de GES émise dans le futur. Ils évaluent les changements prévisibles, affectant les	Analyser l'impact de l'augmentation du CO_2 sur le développement de la végétation.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains, principalement les plus fragiles. Les projections fournies par les modèles permettent de définir les aléas et peuvent orienter les prises de décision. Les mesures d'adaptation découlent d'une analyse des risques et des options pour y faire face.	Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux proposant différents scénarios.

Prérequis et limites

Les notions de formes et de transfert d'énergie, ainsi que celle de puissance, déjà connues, sont mobilisées. La notion de risques naturels étudiée au collège et en classe de seconde (SVT) est convoquée.

Thème 2 : Le futur des énergies

Dans le secteur de l'énergie, l'électricité joue un rôle majeur dans le développement économique. Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, en concevoir le stockage sous d'autres formes, optimiser son transport deviennent des objectifs majeurs d'une transition climatique et environnementale.

L'histoire du développement des générateurs d'électricité fournit de féconds exemples d'échanges entre la science fondamentale, la technologie et l'industrie.

Histoire, enjeux, débat

- L'essor de l'électromagnétisme au XIXe siècle.
- Einstein et les quanta.
- Aspects historiques de la distribution d'énergie électrique.
- Les combustibles alternatifs à empreinte carbone réduite.
- Les enjeux de l'utilisation de l'énergie nucléaire : de la fission à la fusion contrôlée.
- Les accumulateurs électrochimiques dans la société.

2.1 Deux siècles d'énergie électrique

Depuis le XIXe siècle, les progrès de la recherche scientifique fondamentale et de l'invention technique ont conduit à développer des générateurs électriques pratiques, performants, à l'impact climatique et environnemental de moins en moins marqué.

Historiquement, le développement des techniques d'obtention d'énergie électrique s'est appuyé sur des découvertes expérimentales et des avancées théoriques qui furent souvent le résultat de recherches dont ce développement n'était pas le but premier. Il est ainsi fréquent que les résultats de la recherche fondamentale aboutissent à des innovations technologiques non anticipées.

Savoirs	Savoir-faire
Les alternateurs électriques exploitent le phénomène d'induction électromagnétique découvert par Faraday puis théorisé par Maxwell au XIXe siècle. Ils réalisent une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique avec un rendement potentiellement très proche de 1. Au début du XXe siècle, la physique a connu une révolution conceptuelle à travers la vision quantique qui introduit un comportement probabiliste de la nature. Le caractère discret	Reconnaître les éléments principaux d'un alternateur (source de champ magnétique et fil conducteur mobile) dans un schéma fourni. Analyser les propriétés d'un alternateur modèle étudié expérimentalement en classe. Définir le rendement d'un alternateur et citer un phénomène susceptible de l'influencer. Interpréter et exploiter un spectre d'émission atomique. Comparer le spectre d'absorption d'un matériau semi-conducteur et le spectre

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

des spectres de raies d'émission des atomes s'explique de cette façon. L'exploitation technologique des matériaux semi-conducteurs, en particulier du silicium, en est également une conséquence. Ces matériaux sont utilisés en électronique et sont constitutifs des capteurs photovoltaïques. Ceux-ci absorbent l'énergie radiative et la convertissent en énergie électrique.	solaire pour décider si ce matériau est susceptible d'être utilisé pour fabriquer un capteur photovoltaïque. Tracer la caractéristique $i(u)$ d'une cellule photovoltaïque et exploiter cette représentation pour déterminer la résistance d'utilisation maximisant la puissance électrique délivrée.
Prérequis et limites Les spectres de raies d'émission atomiques ainsi que les notions de caractéristique $i(u)$ et de point de fonctionnement d'un dipôle électrique, déjà connues, sont utilisés. La loi de Faraday est hors programme.	
2.2 Les atouts de l'électricité L'énergie électrique présente de nombreux avantages : une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique ; l'existence de réseaux de distribution très étendus ; la disponibilité de convertisseurs de bon rendement permettant de transformer l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie ou, symétriquement, d'obtenir de l'énergie électrique. L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie le rôle central que cette forme d'énergie est amenée à jouer à l'avenir.	
Savoirs	**Savoir-faire**
Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion : - la conversion d'énergie mécanique, soit directe (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit indirecte à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) ; - la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ; - la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).	Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.
Ces méthodes sans combustion ont néanmoins un impact sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels…).	Analyser des documents présentant les conséquences de l'utilisation de ressources géologiques (métaux rares, etc.).
Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable : - énergie chimique (accumulateurs) ; - énergie potentielle (barrages) ; - énergie électromagnétique (super-capacités).	Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, capacité et durée de stockage, impact écologique).

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Prérequis et limites

Les lois de l'électricité, les notions d'énergie et de puissance électriques ainsi que celles d'énergie cinétique et potentielle, déjà rencontrées, sont mobilisées. Aucune expression d'énergie stockée par un système donné n'est exigible.

2.3 Optimisation du transport de l'électricité

La minimisation des pertes par effet Joule dans la distribution d'électricité le long d'un réseau entre dans le cadre général des problèmes mathématiques de transport et d'optimisation sous contraintes. Ces problèmes, très difficiles à résoudre car non linéaires, nécessitent des traitements numériques lorsqu'ils mettent en jeu un nombre important d'inconnues ou de données.

Présentés ici dans le cadre du transport d'électricité, les graphes sont des modèles mathématiques utilisés pour traiter des problèmes relevant de domaines variés : transport d'information dans un réseau informatique, réseaux sociaux, transactions financières, analyses génétiques, etc.

Savoirs	**Savoir-faire**
Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur. L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée.	Faire un schéma d'un circuit électrique modélisant une ligne à haute tension. Utiliser les formules littérales reliant la puissance à la résistance, l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule.
Un réseau de transport électrique peut être modélisé mathématiquement par un graphe orienté dont les arcs représentent les lignes électriques et dont les sommets représentent les sources distributrices, les nœuds intermédiaires et les cibles destinatrices. Dans ce modèle, l'objectif est de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau sous les contraintes suivantes : - l'intensité totale sortant d'une source est limitée par la puissance maximale distribuée ; - l'intensité totale entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à l'intensité totale qui en sort ; - l'intensité totale arrivant à chaque cible est imposée par la puissance qui y est utilisée.	Modéliser un réseau de distribution électrique simple par un graphe orienté. Exprimer mathématiquement les contraintes et la fonction à minimiser. Sur l'exemple d'un réseau comprenant uniquement deux sources, un nœud intermédiaire et deux cibles, formuler le problème de minimisation des pertes par effet Joule et le résoudre pour différentes valeurs numériques correspondant aux productions des sources et aux besoins des cibles.

Prérequis et limites

Les relations quantitatives associées à l'effet Joule sont connues pour le courant continu. Elles sont admises ou fournies pour le courant alternatif. La notion de facteur de puissance est hors programme.

La notion de graphe, abordée dans l'enseignement de sciences numériques et technologie de seconde, est ici mobilisée. Il convient d'insister sur la différence entre les deux types de modèles introduits dans ce sous-thème, le modèle de circuit électrique et le modèle mathématique de graphe.

Les connaissances sur les fonctions sont mobilisées.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

2.4 Choix énergétiques et impacts sur les sociétés

Pour les sociétés, l'enjeu climatique et environnemental est celui d'une transition entre la situation actuelle et un développement fondé sur un régime durable de conversion et d'utilisation de l'énergie. La complexité de cette transition impose de connaître, comprendre et hiérarchiser les paramètres sur lesquels il est possible d'agir, individuellement et collectivement.

Savoirs	Savoir-faire
- Pour que soit mise en œuvre une adaptation efficace aux changements inéluctables et qu'en soit atténué l'impact négatif, les choix énergétiques supposent une compréhension globale du système Terre. - Ces choix doivent tenir compte de nombreux critères et paramètres : disponibilité des ressources et adéquation aux besoins, impacts (climatique, écologique, sanitaire, agricole), vulnérabilités et gestion des risques, faisabilité, conséquences économiques et sociales. L'analyse de ces éléments de décision conduit le plus souvent à une recherche de diversification ou d'évolution des ressources (mix énergétique). - Les durées longues, liées à l'inertie de certains systèmes (infrastructures énergétiques, transports, production industrielle), sont à confronter à l'urgence de l'action. - La transition écologique des sociétés repose sur la créativité scientifique et technologique, comme sur l'invention de nouveaux comportements individuels et collectifs (consommations, déplacements, relations Nord-Sud).	Analyser d'un point de vue global les impacts de choix énergétiques majeurs : exemple du nucléaire. Dans une étude de cas, analyser des choix énergétiques locaux selon les critères et les paramètres mentionnés.

Prérequis et limites

Ce sous-thème est l'occasion de mettre en perspective l'ensemble des thématiques abordées dans les thèmes 1 et 2. La notion de risques naturels étudiée au collège et en classe de seconde (SVT) est mobilisée. À travers la diversité des exemples, les élèves comprennent l'unité du concept d'énergie.

Thème 3 : Une histoire du vivant

La Terre est habitée par une grande diversité d'êtres vivants. Cette biodiversité est dynamique et issue d'une longue histoire dont l'espèce humaine fait partie. L'évolution constitue un puissant outil de compréhension du monde vivant. Les activités humaines se sont transformées au cours de cette histoire, certaines inventions et découvertes scientifiques ont contribué à l'essor de notre espèce.

Les mathématiques permettent de modéliser la dynamique des systèmes vivants afin de décrire leur évolution. La démarche de modélisation mathématique comporte plusieurs

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

étapes : identification du type de modèle le mieux adapté pour traduire la réalité, détermination des paramètres du modèle, confrontation des résultats du modèle à des observations, qui peut conduire à limiter son domaine de validité ou à le modifier.

L'être humain a construit des machines pour traiter l'information et a créé des langages pour les commander. Avec les méthodes de l'intelligence artificielle, il continue d'étendre les capacités de traitement de données et les domaines d'application de l'informatique.

Histoire, enjeux et débats

- Histoire de l'évolution humaine et découverte de fossiles par les paléontologues.
- La théorie de l'évolution et son application dans différents champs.
- Modèles mathématiques historiques d'accroissement des populations (Malthus, Quetelet, Verhulst) et controverses autour du malthusianisme.
- Histoire de grandes avancées médicales : asepsie (Semmelweis, Pasteur), antibiothérapie (Fleming), vaccination (Jenner, Koch, Pasteur), radiologie (Röntgen), greffe, chimiothérapie…
- Biodiversité et impacts des actions humaines.
- Histoire du traitement de l'information : de l'invention de l'écriture aux machines programmables (Jacquard, Babbage) et aux ordinateurs (Lovelace, Turing, Von Neumann…).
- Bogues (ou *bugs*) et failles de sécurité des systèmes informatiques, comme contrepartie parfois graves de leur flexibilité.

3.1 La biodiversité et son évolution

Évaluer la biodiversité à différentes échelles spatiales et temporelles représente un enjeu majeur pour comprendre sa dynamique et les conséquences des actions humaines. Les populations évoluent au cours du temps. Des modèles mathématiques probabilistes et des outils statistiques permettent d'étudier les mécanismes évolutifs impliqués.

Savoirs	Savoir-faire
Il existe sur Terre un grand nombre d'espèces dont seule une faible proportion est effectivement connue. La biodiversité se mesure par des techniques d'échantillonnage (spécimens ou ADN) qui permettent d'estimer le nombre d'espèces (richesse spécifique) dans différents milieux. Les composantes de la biodiversité peuvent aussi être décrites par l'abondance (nombre d'individus) d'une population, d'une espèce ou d'un plus grand taxon.	Exploiter des données obtenues au cours d'une sortie de terrain ou d'explorations scientifiques (historiques et/ou actuelles) pour estimer la biodiversité (richesse spécifique et/ou abondance relative de chaque taxon). Quantifier l'effectif d'une population ou d'un taxon plus vaste à partir de résultats d'échantillonnage.
Il existe plusieurs méthodes permettant d'estimer un effectif à partir d'échantillons. La méthode de « capture-marquage-recapture » repose sur des calculs effectués sur un échantillon. Si on suppose que la proportion d'individus marqués est identique dans l'échantillon de recapture et dans la population totale, l'effectif de celle-ci s'obtient par le calcul d'une quatrième proportionnelle. À partir d'un seul échantillon, l'effectif d'une population peut également être estimé à l'aide d'un intervalle de confiance. Une telle	Estimer une abondance par la méthode de capture, marquage, recapture, fondée sur le calcul d'une quatrième proportionnelle. À l'aide d'un tableur, simuler des échantillons de même effectif pour visualiser la fluctuation d'échantillonnage. En utilisant une formule donnée pour un intervalle de confiance au niveau de confiance de 95 %, estimer un paramètre inconnu dans une population de grande taille à partir des résultats observés sur un échantillon.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

estimation est toujours assortie d'un niveau de confiance strictement inférieur à 100 % en raison de la fluctuation des échantillons. Pour un niveau de confiance donné, l'estimation est d'autant plus précise que la taille de l'échantillon est grande.	
Au cours de l'évolution biologique, la composition génétique des populations d'une espèce change de génération en génération. Le modèle mathématique de Hardy-Weinberg utilise la théorie des probabilités pour décrire le phénomène aléatoire de transmission des allèles dans une population. En assimilant les probabilités à des fréquences pour des effectifs de grande taille (loi des grands nombres), le modèle prédit que la structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (absence de migration, de mutation et de sélection). Cette stabilité théorique est connue sous le nom d'équilibre de Hardy-Weinberg. Les écarts entre les fréquences observées sur une population naturelle et les résultats du modèle s'expliquent notamment par les effets de forces évolutives (mutation, sélection, dérive, etc.).	Pour la transmission de deux allèles dans le cadre du modèle de Hardy-Weinberg, établir les relations entre les probabilités des génotypes d'une génération et celles de la génération précédente. Produire une démonstration mathématique ou un calcul sur tableur ou un programme en Python pour prouver ou constater que les probabilités des génotypes sont constantes à partir de la seconde génération (modèle de Hardy-Weinberg). Utiliser des logiciels de simulation basés sur ce modèle mathématique. Analyser une situation d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg.
Les activités humaines (pollution, destruction des écosystèmes, combustions et leurs impacts climatiques, surexploitation d'espèces…) ont des conséquences sur la biodiversité et ses composantes (dont la variation d'abondance) et conduisent à l'extinction d'espèces. La fragmentation d'une population en plusieurs échantillons de plus faibles effectifs entraîne par dérive génétique un appauvrissement de la diversité génétique d'une population. La connaissance et la gestion d'un écosystème permettent d'y préserver la biodiversité.	Utiliser un modèle géométrique simple (quadrillage) pour calculer l'impact d'une fragmentation sur la surface disponible pour une espèce. À partir d'un logiciel de simulation, montrer l'impact d'un faible effectif de population sur la dérive génétique et l'évolution rapide des fréquences alléliques. Analyser des documents pour comprendre les mesures de protection de populations à faibles effectifs. Identifier des critères de gestion durable d'un écosystème. Envisager des solutions pour un environnement proche.
Prérequis et limites Les notions déjà connues de gènes et d'allèles, de diversité allélique, de sélection naturelle, de dérive génétique, de calcul de probabilités et de fluctuation d'échantillonnage sont mobilisées (classe de seconde).	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

3.2 L'évolution comme grille de lecture du monde

Les concepts de biologie évolutive ont une large portée explicative, présentée ici à travers plusieurs exemples. Ils permettent de comprendre l'anatomie comme le résultat d'une longue histoire évolutive, faite d'adaptations, de hasard, de contingences et de compromis. Les concepts de variation et de sélection naturelle éclairent des pratiques humaines (médicales et agricoles) et certaines de leurs conséquences.

Savoirs	Savoir-faire
Les structures anatomiques présentent des particularités surprenantes d'un point de vue fonctionnel, pouvant paraître sans fonction avérée ou bien d'une étonnante complexité. Elles témoignent de l'évolution des espèces, dont la nôtre. Les caractères anatomiques peuvent être le résultat de la sélection naturelle mais certains sont mieux expliqués par l'héritage de l'histoire évolutive que par leur fonction. L'évolution permet de comprendre des phénomènes biologiques ayant une importance médicale. L'évolution rapide des organismes microbiens nécessite d'adapter les stratégies prophylactiques, les vaccins et les antibiotiques. Depuis la révolution agricole, la pratique intensive de la monoculture, la domestication et l'utilisation de produits phytosanitaires ont un impact sur la biodiversité et son évolution.	Expliquer l'origine d'une structure anatomique en mobilisant les concepts de hasard, de variation, de sélection naturelle et d'adaptation (exemple de l'œil). Interpréter des caractéristiques anatomiques humaines en relation avec des contraintes historiques (comme le trajet de la crosse aortique), des contraintes de construction (comme le téton masculin), des compromis sélectifs (comme les difficultés obstétriques) ou des régressions en cours (comme les dents de sagesse). Mobiliser des concepts évolutionnistes pour expliquer comment des populations microbiennes pourront à longue échéance ne plus être sensibles à un vaccin (ou un antibiotique) ou comment l'utilisation de produits phytosanitaires favorise le développement de ravageurs des cultures qui y sont résistants.

Prérequis et limites

Il n'est pas attendu de développement spécifique en matière d'embryologie ou d'agronomie.

3.3 L'évolution humaine

La paléoanthropologie construit un récit scientifique de nos origines à partir des archives fossiles. La phylogénie permet d'étudier les relations de parenté entre les espèces actuelles et fossiles d'Hominidés.

Savoirs	Savoir-faire
L'espèce humaine actuelle (*Homo sapiens*) fait partie du groupe des primates et est plus particulièrement apparentée aux grands singes avec lesquels elle partage des caractères morpho-anatomiques et des similitudes génétiques. C'est avec le chimpanzé qu'elle partage le plus récent ancêtre commun.	Analyser des matrices de comparaison de caractères morpho-anatomiques résultant d'innovations évolutives afin d'établir des liens de parenté et de construire un arbre phylogénétique. Mettre en relation la ressemblance génétique entre les espèces de primates et leur degré de parenté.
Des arguments scientifiques issus de l'analyse comparée de fossiles permettent de reconstituer l'histoire de nos origines. L'étude de fossiles datés de 3 à 7 millions d'années montre des innovations	Positionner quelques espèces fossiles dans un arbre phylogénétique, à partir de l'étude

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

caractéristiques de la lignée humaine (bipédie prolongée, forme de la mandibule). Le genre Homo regroupe l'espèce humaine actuelle et des espèces fossiles qui se caractérisent notamment par le développement de la capacité crânienne. Plusieurs espèces humaines ont cohabité sur Terre. Certains caractères sont transmis de manière non génétique : microbiote, comportements appris dont la langue, les habitudes alimentaires, l'utilisation d'outils…	de caractères. Analyser des arguments scientifiques qui ont permis de préciser la parenté de Homo sapiens avec les autres Homo, et notamment la parenté éventuelle avec les Néandertaliens ou les Dénisoviens.
Prérequis et limites L'objectif n'est pas de conduire une approche exhaustive des fossiles et de leurs caractères biologiques, mais de présenter la démarche scientifique permettant de construire une histoire raisonnée de l'évolution humaine. Les notions de liens de parenté, étudiées au collège, sont mobilisées ; un accent particulier est mis sur l'importance de l'identification d'innovations évolutives communes.	
3.4 Les modèles démographiques Dans le cadre de l'étude de l'évolution des populations, il est important de prédire leur effectif futur mais aussi la manière dont vont évoluer les ressources qui leur sont nécessaires. Pour prédire l'évolution d'un système quelconque, les scientifiques utilisent des modèles mathématiques. La présentation de l'exemple historique de Malthus permet de mettre en œuvre cette démarche mathématique dans le cas discret (correspondant à une variation par paliers).	
Savoirs	**Savoir-faire**
Un modèle mathématique simple est le modèle linéaire. Une grandeur discrète u varie de manière linéaire en fonction d'un palier entier n si sa variation absolue $u(n+1)-u(n)$ est constante. Dans ce cas, les points $(n, u(n))$ sont situés sur une droite. La suite de terme général $u(n)$ est arithmétique. Dans la réalité, pour une population dont la variation absolue est presque constante d'un palier à l'autre, on peut ajuster le nuage de points qui la représente par une droite (modèle linéaire).	Exprimer $u(n)$ en fonction de $u(0)$ et n. Produire et interpréter des graphiques statistiques traduisant l'évolution d'effectif d'une population ou de ressources, notamment sous forme de nuages de points. À l'aide d'une calculatrice ou d'un tableur, ajuster un nuage de points par une droite et utiliser ce modèle linéaire pour effectuer des prévisions.
Le modèle linéaire est inadapté pour représenter l'évolution d'une grandeur dont la variation absolue change fortement d'un palier à l'autre. Une grandeur discrète u varie de manière exponentielle en fonction du palier entier n si sa variation absolue $u(n+1) - u(n)$ est proportionnelle à sa valeur courante $u(n)$. Dans ce cas, sa variation relative (ou taux de variation) est constante et la suite de terme	Exprimer $u(n)$ en fonction de $u(0)$ et de n. À partir de données démographiques, calculer le taux de variation d'une population entre deux dates. Calculer l'effectif final d'une population à partir de son effectif initial, de son taux de natalité et de son taux de mortalité. Selon le

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

général *u(n)* est géométrique. Dans la réalité, pour une population dont le taux de variation est presque constant d'un palier à l'autre, on peut ajuster le nuage de points par un modèle exponentiel. Le modèle démographique de Malthus est un modèle exponentiel d'évolution de l'effectif de la population. Il prévoit que l'effectif de la population décroît vers 0 si le taux de mortalité est supérieur au taux de natalité et croît vers l'infini si le taux de natalité est supérieur au taux de mortalité. Si les prédictions du modèle de Malthus peuvent se révéler correctes sur un temps court, elles sont irréalistes sur un temps long, notamment en raison de l'insuffisance des ressources disponibles. Des modèles plus élaborés prévoient que la population mondiale atteindra environ 10 milliards d'humains en 2050.	modèle de Malthus, prédire l'effectif d'une population au bout de *n* années. À l'aide d'un tableur, d'une calculatrice ou d'une représentation graphique, calculer le temps de doublement d'une population sous l'hypothèse de croissance exponentielle. À partir de documents fournis, proposer un modèle de croissance de ressources alimentaires (par exemple la production mondiale de blé ou de riz) et la comparer à une croissance exponentielle. Comparer les valeurs fournies par un modèle à des données réelles afin de tester sa validité.
Prérequis et limites Différentes notions déjà étudiées sont mobilisées : fonctions affines, représentations graphiques de droites, fonction de variable entière et notation *u*(*n*). La connaissance de la fonction exponentielle n'est pas exigible.	
3.5 L'intelligence artificielle L'être humain n'a cessé d'accroître son pouvoir d'action sur le monde, utilisant son intelligence pour construire des outils et des machines. Il a élaboré un mode de pensée algorithmique susceptible d'être codé dans des langages permettant de commander ces machines. Aujourd'hui, l'intelligence artificielle (IA) permet l'accomplissement de tâches et la résolution de problèmes jusqu'ici réservés aux humains : reconnaître et localiser les objets dans une image, conduire une voiture, traduire un texte, dialoguer, ... Un champ de l'intelligence artificielle ayant permis des applications spectaculaires est celui de l'apprentissage machine.	
Savoirs	**Savoir-faire**
Jusqu'au début du XXe siècle, les machines traitant l'information sont limitées à une ou quelques tâches prédéterminées (tisser grâce à un ruban ou des cartes perforées, trier un jeu de carte perforées, séparer des cartes selon un critère, sommer des valeurs indiquées sur ces cartes, ...). Turing a été le premier à proposer le concept de machine universelle qui a été matérialisé dix ans plus tard avec les premiers ordinateurs. Ceux-ci sont constitués *a minima* d'un processeur et d'une mémoire vive. Un ordinateur peut manipuler des données de natures diverses une fois qu'elles ont été numérisées : textes, images, sons. Les programmes sont également des données : ils	Analyser des documents historiques relatifs au traitement de l'information et à son automatisation. Recenser les différentes situations de la vie courante où sont utilisés les ordinateurs, identifier lesquels sont programmables et par qui (thermostat d'ambiance, smartphone, box internet, ordinateur de bord d'une voiture…). Savoir distinguer les fichiers exécutables des autres fichiers sous un système d'exploitation donné.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

peuvent être stockés, transportés, et traités par des ordinateurs. En particulier, un programme écrit dans un langage de programmation de haut niveau (Python, Scratch…) peut être traduit en instructions spécifiques à chaque type de processeur.	Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un fichier image, son, vidéo. Savoir calculer la taille en octets d'une page de texte (en ASCII et non compressé).
Un programme peut comporter jusqu'à plusieurs centaines de millions de lignes de code, ce qui rend très probable la présence d'erreurs appelées bogues (ou *bugs*). Ces erreurs peuvent conduire un programme à avoir un comportement inattendu et entraîner des conséquences graves.	Étant donné un programme très simple, proposer des jeux de données d'entrée permettant d'en tester toutes les lignes. Corriger un algorithme ou un programme bogué simple.
Le terme « intelligence artificielle » (IA) recouvre un ensemble de théories et de techniques qui traite de problèmes dont la résolution fait appel à l'intelligence humaine. L'apprentissage machine (ou « apprentissage automatique ») utilise des programmes capables de s'entraîner à partir de données. Il exploite des méthodes mathématiques qui, à partir du repérage de tendances (corrélations, similarités) sur de très grandes quantités de données (big data), permet de faire des prédictions ou de prendre des décisions sur d'autres données. La qualité et la représentativité des données d'entraînement sont essentielles pour la qualité des résultats. Les biais dans les données peuvent se retrouver amplifiés dans les résultats.	Analyser des documents relatifs à une application de l'intelligence artificielle. Utiliser une courbe de tendance (encore appelée courbe de régression) pour estimer une valeur inconnue à partir de données d'entraînement. Analyser un exemple d'utilisation de l'intelligence artificielle : identifier la source des données utilisées et les corrélations exploitées. Sur des exemples réels, reconnaître les possibles biais dans les données, les limites de la représentativité. Expliquer pourquoi certains usages de l'IA peuvent poser des problèmes éthiques.
L'inférence bayésienne est une méthode de calcul de probabilités de causes à partir des probabilités de leurs effets. Elle est utilisée en apprentissage automatique pour modéliser des relations au sein de systèmes complexes, notamment en vue de prononcer un diagnostic (médical, industriel, détection de spam…). Cela permet de détecter une anomalie à partir d'un test imparfait.	À partir de données, par exemple issues d'un diagnostic médical fondé sur un test, produire un tableau de contingence afin de calculer des fréquences de faux positifs, faux négatifs, vrais positifs, vrais négatifs. En déduire le nombre de personnes malades suivant leur résultat au test.
Prérequis et limites Les probabilités étant assimilées à des fréquences, il est possible de raisonner sur des tableaux à double entrée sans faire appel explicitement à la théorie des probabilités conditionnelles ni à la formule de Bayes.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Annexe

Programme de sciences de la vie et de la Terre de terminale générale

Sommaire

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des SVT au lycée

Mise en œuvre du programme

Le numérique et les SVT

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Enseignement de spécialité de SVT et épreuve orale terminale

Compétences travaillées

Thématiques étudiées

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Enjeux planétaires contemporains

Corps humain et santé

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au lycée vise à dispenser une formation scientifique solide préparant à l'enseignement supérieur. Dans le prolongement du collège, il poursuit la formation civique des élèves. À partir de bases générales établies en seconde, les enseignements de spécialité des classes de première et terminale conduisent à des approfondissements, à des approches complémentaires et à des généralisations ainsi qu'à une pratique de méthodes et de raisonnements scientifiques plus aboutis. Discipline en prise avec l'évolution rapide des connaissances et des technologies, les SVT permettent à la fois la compréhension d'objets et de méthodes scientifiques et l'éducation en matière d'environnement, de santé, de sécurité, contribuant ainsi à la formation des futurs citoyens.

L'enseignement de spécialité en classe terminale concerne les élèves ayant confirmé ce choix parmi les trois spécialités suivies en classe de première. À ce titre, dans le cadre des six heures hebdomadaires et dans une logique d'exigence disciplinaire et de préparation à l'enseignement supérieur, les élèves sont amenés à approfondir leurs connaissances et à développer un solide niveau de compétences.

Dans ses programmes, la discipline porte trois objectifs majeurs :

- renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences et, plus généralement, assurer l'acquisition d'une culture scientifique assise sur les concepts fondamentaux de la biologie et de la géologie ;
- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation civique en appréhendant le monde actuel et son évolution dans une perspective scientifique ;
- préparer les élèves qui choisiront une formation scientifique à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur et, au-delà, aux métiers auxquels elle conduit.

Pour atteindre ces objectifs, les programmes de SVT du cycle terminal sont organisés en trois grandes thématiques (chacune déclinée en plusieurs thèmes) :

La Terre, la vie et l'évolution du vivant

La science construit, à partir de méthodes de recherche et d'analyse rigoureuses fondées sur l'observation de la Terre et du monde vivant, une explication cohérente de leur état, de leur fonctionnement et de leur histoire.

Enjeux contemporains de la planète

Les élèves appréhendent les grands enjeux auxquels l'humanité sera confrontée au XXIe siècle, ceux de l'environnement, du développement durable, de la gestion des ressources et des risques… Pour cela ils s'appuient sur les démarches scientifiques de la biologie et des géosciences.

Le corps humain et la santé

Les thèmes retenus permettent aux élèves de mieux appréhender le fonctionnement de leur organisme et de saisir comment la santé se définit aujourd'hui dans une approche globale intégrant l'individu dans son environnement et prenant en compte les enjeux de santé publique.

Dans ces trois thématiques, l'exercice de l'esprit critique est particulièrement nécessaire face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences.

Ces trois thématiques permettent également aux élèves de découvrir les métiers liés aux sciences fondamentales (recherche, enseignement), les métiers actuels ou émergents dans

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

les sciences de l'environnement et du développement durable, en géosciences, en gestion des ressources et des risques, ainsi que les métiers liés aux domaines de la santé et du sport.

Comme tous les enseignements, cet enseignement de spécialité contribue au développement des compétences orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre. Elle permet à chacun de faire évoluer sa pensée, jusqu'à la remettre en cause si nécessaire, pour accéder progressivement à la vérité par la preuve. Elle prend un relief particulier pour ceux qui choisiront de préparer l'épreuve orale terminale du baccalauréat en l'adossant à cet enseignement de spécialité.

Mise en œuvre du programme

Le programme est conçu pour laisser une large part à l'initiative du professeur et/ou de l'équipe disciplinaire, et ainsi préserver leur liberté pédagogique qui porte sur :

- les modalités didactiques ;
- l'ordre dans lequel seront étudiés les thèmes et introduites les notions ;
- les exemples choisis ;
- le degré d'approfondissement pour aborder tel ou tel sujet, tout en préservant la logique d'un traitement équilibré du programme.

Le programme détermine les connaissances et les compétences que les élèves doivent acquérir pour réussir dans leur poursuite d'études, quelle qu'elle soit. Les activités expérimentales occupent une place centrale en SVT : pour répondre à un problème scientifique, l'élève examine la validité d'une hypothèse par la mise au point d'un protocole ; il confronte les résultats de l'expérience aux attentes théoriques ou à un modèle. Les études et prélèvements sur le terrain favorisent les apprentissages : les élèves mettent en œuvre des stratégies d'observation, d'échantillonnage, de recueil de données, qu'ils peuvent ensuite traiter avec des outils d'analyse. Activités expérimentales et sorties favorisent l'éducation à la sécurité et aux risques par le respect des règles de sécurité indispensables.

Le numérique et les SVT

Les SVT requièrent l'usage des outils numériques généralistes (Internet, tableurs) et le recours à l'expérimentation assistée par ordinateur, qui peut se prolonger par l'exploitation de capteurs connectés à des microcontrôleurs programmables. Elles doivent aussi développer de nouvelles compétences numériques chez les élèves : l'usage des bases de données scientifiques, de systèmes d'informations géoscientifiques, de la modélisation numérique, de la programmation, des calculs quantitatifs, voire de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Ce sont autant de possibilités offertes aux lycéens de manipuler les outils actuels des sciences du vivant et de la Terre, qui leur ouvrent de nouvelles perspectives de formation, comme la bio-informatique ou l'exploitation de données.

Une formation scientifique développe les compétences d'analyse critique pour permettre aux élèves de vérifier les sources d'information et leur légitimité, puis de distinguer les informations fiables. Ces démarches sont particulièrement importantes en SVT, qui font souvent l'objet de publications « pseudo-scientifiques », voire idéologiques : les professeurs de SVT contribuent à l'éducation des élèves aux médias et à l'information par un travail régulier d'approche critique des informations.

Liens avec les autres disciplines scientifiques

Les SVT intègrent naturellement dans leurs pratiques les acquis des autres disciplines scientifiques, en particulier la physique-chimie et l'informatique, et utilisent les concepts et

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

outils mathématiques. Le programme mobilise les apports de ces disciplines dans d'autres contextes, au nom d'autres usages et d'autres intérêts. Une attention particulière doit être portée à la cohérence du vocabulaire scientifique employé d'une discipline à l'autre.

Enseignement de spécialité de SVT et épreuve orale terminale

Toutes les thématiques traitées par l'enseignement de spécialité se prêtent à l'élaboration de projets que les élèves peuvent présenter lors de l'épreuve orale terminale. Ces projets peuvent adopter des approches variées, par exemple l'approfondissement d'un concept scientifique (par une approche bibliographique ou expérimentale, par un travail historique sur l'émergence de ce concept…), l'identification des applications pratiques (en santé, alimentation, énergie…) qui sont liées à telle ou telle découverte scientifique, les implications éthiques ou sociétales de tel ou tel savoir scientifique.

Les élèves peuvent, avec l'aide de leur professeur, exploiter les capacités données à titre d'exemple dans le programme pour enrichir leurs projets.

Compétences travaillées

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
Pratiquer des démarches scientifiques	- Formuler et résoudre une question ou un problème scientifique. - Concevoir et mettre en œuvre des stratégies de résolution. - Observer, questionner, formuler une hypothèse, en déduire ses conséquences testables ou vérifiables, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser, argumenter. - Interpréter des résultats et en tirer des conclusions. - Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique. - Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes. - Discerner, dans la complexité apparente des phénomènes observables, des éléments et des principes fondamentaux. - Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique.
Concevoir, créer, réaliser	- Identifier et choisir des notions, des outils et des techniques, ou des modèles simples pour mettre en œuvre une démarche scientifique. - Concevoir et mettre en œuvre un protocole.
Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre	- Planifier et organiser son travail. - Garder trace de ses recherches (à l'oral et à l'écrit) et mémoire de ses acquis précédents. - Recenser, extraire, organiser et exploiter des informations à partir de documents en citant ses sources, à des fins de connaissance et pas seulement d'information. - Coopérer et collaborer dans le cadre de démarches de projet.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Pratiquer des langages	- Communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant. - Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique. Utiliser des outils numériques : - conduire une recherche d'informations sur internet pour répondre à une question ou pour résoudre un problème scientifique, en choisissant des mots-clés pertinents, et en évaluant la fiabilité des sources et la validité des résultats ; - utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données.
Adopter un comportement éthique et responsable	- Identifier les impacts (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles. - Fonder sur des arguments scientifiques ses choix de comportement vis-à-vis de la santé ou de l'environnement. - Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé. - Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain.

Thématiques étudiées

Pour chaque tableau, **la colonne de gauche mentionne**, d'une part, **les connaissances** (en caractères droits) qui doivent être acquises par l'élève et, d'autre part, **les notions fondamentales** (en italiques) qui doivent être connues par l'élève à l'issue de la formation.

Elles recouvrent des notions qui n'ont pas été placées explicitement dans le programme pour de simples questions d'écriture et d'aisance de lecture, mais qui doivent être connues des élèves.

La colonne de droite indique les capacités et attitudes qui peuvent être mises en œuvre pour travailler l'item décrit. Elle donne des pistes aux professeurs pour développer les compétences attendues et décrites plus bas. Des activités sont parfois proposées à seul titre d'exemples.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- **Génétique et évolution**

Cette partie s'inscrit dans une logique d'approfondissement des acquis des années précédentes, notamment des concepts de biodiversité et d'évolution. Dès la classe de seconde, la diversité génétique et les processus évolutifs ont été abordés dans le contexte de la biodiversité. En classe de première, les mécanismes à l'origine des mutations ont été identifiés, ainsi que leurs effets sur la santé humaine. En classe terminale, il s'agit de comprendre comment la reproduction sexuée forme des génomes individuels et contribue à la diversification du vivant, aux côtés d'autres processus génétiques et non génétiques. L'élève consolide ses acquis en génétique et découvre les techniques qui aboutissent à la connaissance du génome de chaque individu. Il comprend que l'hérédité n'est pas exclusivement liée à l'ADN.

Connaissances	Capacités, attitudes
L'origine du génotype des individus	
La conservation des génomes : stabilité génétique et évolution clonale En enseignement de spécialité de la classe de première, les élèves ont appris que la succession de mitoses produit un clone, c'est-à-dire un ensemble de cellules, toutes génétiquement identiques, aux mutations près. Ces clones sont constitués de cellules séparées (cas des nombreuses bactéries ou de nos cellules sanguines) ou associées de façon stable (cas des tissus solides). En l'absence d'échanges génétiques avec l'extérieur, la diversité génétique dans un clone résulte de l'accumulation de mutations successives dans les différentes cellules. Tout accident génétique irréversible (perte de gène par exemple) devient pérenne pour toute la lignée (sous-clone) qui dérive du mutant. **Le brassage des génomes à chaque génération : la reproduction sexuée des eucaryotes** La fécondation entre gamètes haploïdes rassemble, dans une même cellule diploïde, deux génomes d'origine indépendante apportant chacun un lot d'allèles. Chaque paire d'allèles résultant est constituée de deux allèles identiques (homozygotie) ou de deux allèles différents (hétérozygotie). En fin de méiose, chaque cellule produite reçoit un seul des deux allèles de chaque paire avec une probabilité équivalente. Pour deux paires d'allèles, quatre combinaisons d'allèles sont possibles, équiprobables ou non en cas de gènes liés. Le nombre de combinaisons génétiques possibles dans les gamètes est d'autant plus élevé que le nombre de gènes à l'état hétérozygote est plus grand chez les parents.	Comprendre la notion de clone à partir de divers exemples tirés de l'agriculture ou du domaine de la santé (cellules cancéreuses, lymphocytes B producteurs d'un seul anticorps, clones bactériens). En fonction du nombre de cellules de l'organisme humain, estimer le nombre théorique de mutations (connaissant le nombre moyen de mutations à chaque division cellulaire) qui surviennent dans l'organisme humain, lors de son développement. Extraire et organiser des informations sur les mutations et leurs effets phénotypiques, notamment sur un site régulateur de l'expression d'un gène. Extraire et organiser des informations sur l'élaboration des lois de Mendel. Comprendre les relations de dominance / récessivité en fonction de l'équipement chromosomique chez les diploïdes (par exemple sur le système ABO, et/ou les gènes de la globine). Schématiser les conséquences de

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Comprendre les résultats de la reproduction sexuée : principes de base de la génétique L'analyse génétique peut se fonder sur l'étude de la transmission héréditaire des caractères observables (phénotype) dans des croisements issus le plus souvent de lignées pures (homozygotes) et ne différant que par un nombre limité de caractères. Dans le cas de l'espèce humaine, l'identification des allèles portés par un individu s'appuie d'abord sur une étude au sein de la famille, en appliquant les principes de transmission héréditaire des caractères. Le développement des techniques de séquençage de l'ADN et les progrès de la bioinformatique donnent directement accès au génotype de chaque individu comme à ceux de ces ascendants et descendants. L'utilisation de bases de données informatisées permet d'identifier des associations entre certains gènes mutés et certains phénotypes. **Les accidents génétiques de la méiose** Des anomalies peuvent survenir au cours de la méiose : *crossing-over* inégal ; migrations anormales de chromatides au cours des divisions de méiose… Ces accidents, souvent létaux, engendrent parfois une diversification importante des génomes et jouent un rôle essentiel dans l'évolution biologique (familles multigéniques, barrières entre populations…). ***Notions fondamentales* :** clone ; brassage génétique (combinaison d'allèles) inter- et intrachromosomique (crossing-over) au cours de la méiose ; diversité des gamètes ; stabilité des caryotypes ; distinction reproduction et sexualité ; diversification génomique. ***Objectifs :*** il s'agit d'abord d'identifier les conséquences génétiques, pour les individus, des divisions cellulaires étudiées en classe de première. Cela permet aussi : - de comprendre que la reproduction sexuée garantit l'émergence de nouveaux génomes chez les êtres vivants, en tolérant des erreurs (qui deviennent des innovations) au sein d'espèces vivantes de plus en plus complexes à l'échelle des temps géologiques ; - d'acquérir les principes de bases de l'analyse génétique sur des exemples simples.	la méiose pour deux paires d'allèles portés par deux chromosomes différents ou par un même chromosome. Interpréter des résultats de croisements avec transmission de deux paires d'allèles (liés ou non entre eux), portés ou pas par les chromosomes sexuels. Recenser et comparer des séquences d'ADN sur des trios père / mère / enfant permettant d'analyser la présence de mutations nouvelles. Recenser des informations sur les nombreux mutants du gène de la mucoviscidose et les analyses prédictives qui peuvent être conduites. Schématiser les mécanismes expliquant certaines anomalies chromosomiques après méiose et fécondation.
Précisions** :* on s'appuie sur l'exemple de l'être humain ou sur ceux d'organismes eucaryotes modèles en génétique parmi les animaux, les plantes ou les ascomycètes. On ne traite pas d'exemples de croisement génétique pour plus de deux paires d'allèles. ***Liens : SVT – enseignement de spécialité en classe de première : mitose et méiose ; mutations ; variation génétique et santé.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

<table>
<tr><th colspan="2">La complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbioses</th></tr>
<tr><td>L'universalité de l'ADN et l'unicité de sa structure dans le monde vivant autorisent des échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés.
Des échanges de matériel génétique, hors de la reproduction sexuée, constituent des transferts horizontaux. Ils se font par des processus variés (vecteurs viraux, conjugaison bactérienne…).
Les transferts horizontaux sont très fréquents et ont des effets très importants sur l'évolution des populations et des écosystèmes. Les pratiques de santé humaine sont concernées (propagation des résistances aux antibiotiques).
Les endosymbioses transmises entre générations, fréquentes dans l'histoire des eucaryotes, jouent un rôle important dans leur évolution. Le génome de la cellule (bactérie ou eucaryote) intégré dans une cellule hôte régresse au cours des générations, certains de ses gènes étant transférés dans le noyau de l'hôte. Ce processus est à l'origine des mitochondries et des chloroplastes, organites contenant de l'ADN.
Notions fondamentales : transferts génétiques horizontaux versus verticaux, endosymbiose, hérédité cytoplasmique, phylogénies.
Objectifs : il s'agit de comprendre ici que des mécanismes non liés à la reproduction sexuée enrichissent les génomes de tous les êtres vivants.</td><td>Étudier des expériences historiques mettant en évidence la transformation bactérienne.
Comprendre comment la connaissance des mécanismes des transferts horizontaux permet des applications biotechnologiques (notamment la production de molécules d'intérêt dans les lignées bactériennes).
Recenser des informations attestant l'existence de transferts horizontaux de gènes dans l'histoire du génome humain.
Extraire et organiser des informations d'un arbre phylogénétique pour identifier l'importance des transferts horizontaux.
Mettre en œuvre une méthode permettant de comprendre les arguments qui ont conduit à considérer que les organites énergétiques sont issus de symbioses dans la lignée des eucaryotes.</td></tr>
<tr><td colspan="2">***Précisions :*** on se limite aux eubactéries. L'exemple de la transformation bactérienne est privilégié pour illustrer les transferts horizontaux ; l'existence d'autres mécanismes peut ensuite être évoquée. Les mécanismes au niveau cytologique et moléculaire ne sont pas développés.
Liens : SVT – classe de seconde : la cellule différenciée ; les organites.</td></tr>
<tr><th colspan="2">L'inéluctable évolution des génomes au sein des populations</th></tr>
<tr><td>Dans les populations eucaryotes à reproduction sexuée, le modèle théorique de Hardy-Weinberg prévoit la stabilité des fréquences relatives des allèles dans une population. Mais, dans les populations réelles, différents facteurs empêchent d'atteindre cet équilibre théorique : l'existence de mutations, le caractère favorable ou défavorable de celles-ci, la taille limitée d'une population (effets de la dérive génétique), les migrations et les préférences sexuelles.
Les populations sont soumises à la sélection naturelle et à la dérive génétique. À cause de l'instabilité de l'environnement biotique et abiotique, une différenciation génétique se produit obligatoirement au cours du temps. Cette différenciation peut conduire à limiter les échanges réguliers de gènes entre différentes populations. Toutes les espèces apparaissent donc comme des ensembles</td><td>Comprendre et identifier les facteurs éloignant de l'équilibre théorique de Hardy-Weinberg, notamment l'appariement non-aléatoire, la sélection, la population finie (dérive).
Extraire, organiser et exploiter des informations sur l'évolution de fréquences alléliques dans des populations.
Questionner la notion d'espèce en s'appuyant sur les apports modernes du séquençage de l'ADN.</td></tr>
</table>

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

hétérogènes de populations, évoluant continuellement dans le temps. ***Notions fondamentales :*** mutation, sélection, dérive, évolution. ***Objectifs :*** il s'agit avant tout de mobiliser les acquis des élèves sur les mécanismes de l'évolution et de comprendre, en s'appuyant sur des exemples variés, que ces mécanismes concernent toutes les populations vivantes.	
Précisions : les conditions d'applications du modèle de Hardy-Weinberg sont mobilisées en lien avec l'enseignement scientifique. Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolée génétiquement des autres populations. ***Liens :*** SVT – classe de seconde : biodiversité ; enseignement scientifique de la classe terminale : loi de Hardy-Weinberg.	
D'autres mécanismes contribuent à la diversité du vivant	
La diversification phénotypique des êtres vivants n'est pas uniquement due à la diversification génétique. D'autres mécanismes interviennent : - associations non héréditaires (pathogènes ou symbiotes ; cas du microbiote acquis) ; - recrutement de composants inertes du milieu qui modulent le phénotype (constructions, parures…). Chez certains animaux, les comportements acquis peuvent être transmis d'une génération à l'autre et constituer une source de diversité : ainsi du chant des oiseaux, de l'utilisation d'outils dans des populations animales, de la culture notamment dans les sociétés humaines. Ces traits sont transmis entre contemporains et de génération en génération, et subissent une évolution (apparition de nouveaux traits, qui peuvent être sélectionnés, contre-sélectionnés ou perdus par hasard). ***Notions fondamentales :*** hérédité non fondée sur l'ADN, transmission et évolution culturelles. ***Objectifs :*** il s'agit de comprendre, en s'appuyant sur des exemples variés dans le monde vivant, que la diversification des êtres vivants n'est pas toujours liée à une diversification génétique ou à une transmission d'ADN.	Étudier un exemple de diversification du vivant sans modification du génome. Extraire, organiser et exploiter des informations pour : - appréhender la notion de phénotype étendu ; - appréhender la notion d'évolution culturelle et ses liens avec celle d'évolution biologique.
Précisions : un traitement exhaustif des mécanismes possibles n'est pas attendu. ***Liens :*** SVT – enseignement de spécialité de la classe terminale : de la plante sauvage à la plante domestiquée.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

- **À la recherche du passé géologique de notre planète**

L'enseignement de spécialité en classe de première a permis aux élèves de découvrir les principaux aspects de la dynamique terrestre en étudiant la structure du globe et quelques caractéristiques de la mobilité horizontale de la lithosphère. Ils ont ainsi acquis une compréhension globale de la dynamique terrestre.

Le programme de la classe terminale vise à renforcer cette compréhension des géosciences en développant, dans une première partie, la dimension temporelle des études géologiques. Il importe de comprendre comment un objet géologique, quelles que soient ses dimensions, témoigne d'une histoire que l'on peut reconstituer par l'application de méthodes chronologiques. Cette étude temporelle permet de comprendre comment a été établie l'échelle internationale des temps géologiques et combien l'histoire de la Terre et l'histoire de la vie sont indissociables. Les dimensions spatiale et temporelle sont présentes dans l'étude des paléogéographies de la Terre. Les traces des mobilités tectoniques passées sont alors découvertes et interprétées. Elles conduisent à une compréhension plus précise des grands objets de la géologie mondiale.

Les élèves sont invités à s'appuyer sur des données de terrain obtenues lors d'une sortie (identification de relations géométriques à l'échelle des affleurements, observation de complexes ophiolitiques, analyse de structures tectoniques d'extension…).

Connaissances	**Capacités, attitudes**
Le temps et les roches	
La chronologie relative Les relations géométriques (superposition, recoupement, inclusion) permettent de reconstituer la chronologie relative de structures ou d'événements géologiques de différentes natures et à différentes échelles d'observation. Les associations de fossiles stratigraphiques, fossiles ayant évolué rapidement et présentant une grande extension géographique, sont utilisées pour caractériser des intervalles de temps. L'identification d'associations fossiles identiques dans des régions géographiquement éloignées permet l'établissement de corrélations temporelles entre formations. Les coupures dans les temps géologiques sont établies sur des critères paléontologiques : l'apparition ou la disparition de groupes fossiles. La superposition des intervalles de temps, limités par des coupures d'ordres différents (ères, périodes, étages), aboutit à l'échelle stratigraphique. **La chronologie absolue** La désintégration radioactive est un phénomène continu et irréversible ; la demi-vie d'un élément radioactif est caractéristique de cet élément. La quantification de l'élément père radioactif et de l'élément fils radiogénique permet de déterminer l'âge	Utiliser les relations géométriques pour établir une succession chronologique d'événements à partir d'observations à différentes échelles et sur différents objets (lames minces observées au microscope, affleurements, cartes géologiques). Observer une succession d'associations fossiles différentes dans une formation géologique et comprendre comment est construite une coupure stratigraphique (par exemple par l'étude des successions d'ammonites, de trilobites ou de foraminifères). Comprendre les modalités de construction de l'échelle stratigraphique ; discuter les fondements et la validité des différents niveaux de coupures. Observer les auréoles liées à la désintégration de l'uranium dans les zircons au sein des biotites. Mobiliser les bases physiques de la désintégration radioactive.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

des minéraux constitutifs d'une roche. Différents chronomètres sont classiquement utilisés en géologie. Ils se distinguent par la période de l'élément père. Le choix du chronomètre dépend de l'âge supposé de l'objet à dater, qui peut être appréhendé par chronologie relative. Les datations sont effectuées sur des roches magmatiques ou métamorphiques, en utilisant les roches totales ou leurs minéraux isolés. L'âge obtenu est celui de la fermeture du système considéré (minéral ou roche). Cette fermeture correspond à l'arrêt de tout échange entre le système considéré et l'environnement (par exemple quand un cristal solide se forme à partir d'un magma liquide). Des températures de fermeture différentes pour différents minéraux expliquent que des mesures effectuées sur un même objet tel qu'une roche, avec différents chronomètres, puissent fournir des valeurs différentes. ***Notions fondamentales :*** chronologie, principes de datations relative et absolue, fossiles stratigraphiques, chronomètres. ***Objectifs :*** les élèves appréhendent les méthodes du géologue pour construire une chronologie des objets étudiés. Ils comprennent la pertinence des méthodes employées en fonction du contexte géologique et identifient les limites d'utilisation des différentes stratégies de datation. Ils approfondissent les méthodes qu'ils ont acquises dans les classes précédentes, notamment l'exploitation des supports pétrographiques (échantillons, lames minces) et cartographiques. Ils font un nouvel usage de la carte de France au $1/10^6$, articulé sur les données chronologiques.	Identifier les caractéristiques (demi-vie ; distribution) de quelques chronomètres reposant sur la décroissance radioactive, couramment utilisés dans la datation absolue : Rb/Sr, K/Ar, U/Pb. Comprendre le lien, à partir d'un exemple, entre les conditions de fermeture du système (cristallisation d'un magma, ou mort d'un organisme vivant) et l'utilisation de chronomètres différents. Extraire des informations à partir de cartes géologiques ; utiliser les apports complémentaires de la chronologie relative et de la chronologie absolue pour reconstituer une histoire géologique.
Précisions : la connaissance de l'échelle stratigraphique internationale n'est pas attendue. On se limite en chronologie absolue à l'étude des roches magmatiques pour laquelle la fermeture du système est due à l'abaissement de la température au-delà d'un certain seuil. L'étude des principes physiques de la désintégration des éléments radioactifs servant aux datations et les développements mathématiques permettant de déterminer l'âge des roches ne sont pas exigibles. ***Liens :*** programme d'enseignement scientifique en classe de première. Programme de physique-chimie en classe terminale.	
Les traces du passé mouvementé de la Terre	
Des domaines continentaux révélant des âges variés Les continents associent des domaines d'âges différents. Ils portent des reliquats d'anciennes chaînes de montagnes (ou ceintures orogéniques) issues de cycles orogéniques successifs.	Observer la carte géologique mondiale afin d'identifier quelques ceintures orogéniques. Recenser et organiser les informations chronologiques sur

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

La recherche d'océans disparus Les ophiolites sont des roches de la lithosphère océanique. La présence de complexes ophiolitiques formant des sutures au sein des chaînes de montagnes témoigne de la fermeture de domaines océaniques, suivie de la collision de blocs continentaux par convergence de plaques lithosphériques. L'émergence d'ophiolites résulte de phénomènes d'obduction ou de subduction, suivis d'une exhumation. **Les marques de la fragmentation continentale et de l'ouverture océanique** Les marges passives bordant un océan portent des marques de distension (failles normales et blocs basculés) qui témoignent de la fragmentation initiale avant l'accrétion océanique. Les stades initiaux de la fragmentation continentale correspondent aux rifts continentaux. La dynamique de la lithosphère détermine ainsi différentes périodes paléogéographiques, avec des périodes de réunion de blocs continentaux, liées à des collisions orogéniques, et des périodes de fragmentation conduisant à la mise en place de nouvelles dorsales. ***Notions fondamentales :*** cycle orogénique, ophiolites, paléogéographie. ***Objectifs :*** les élèves mobilisent leurs acquis de la classe de première sur la tectonique globale actuelle (notamment les marqueurs de collision ou d'extension) pour reconstituer l'histoire géologique de la Terre et notamment sa paléogéographie.	les formations magmatiques et métamorphiques, figurant sur une carte de France au 10^{-6}. Recenser, extraire et organiser des données de terrain ou cartographiques pour argumenter : - sur l'origine océanique d'un complexe ophiolitique (données pétrographiques et minéralogiques) ; - sur l'idée de suture (données cartographiques : par exemple, les Alpes ou l'Himalaya). Établir des corrélations entre la composition minéralogique d'une roche et les différentes conditions de pression et de température, déterminées par les contextes de subduction. Recenser, organiser et exploiter des données (sismiques, tectoniques, sédimentaires) : - relatives à des marges passives divergentes ; - relatives à un rift continental (par exemple, le rift des Afars).
Précisions : l'étude de la diversité des ophiolites n'est pas au programme. L'exhumation des ophiolites subduites est mentionnée comme un fait mais n'est pas expliquée. Aucune notion relative à l'isostasie n'est exigée. ***Liens :*** enseignement de spécialité de SVT en classe de première : dynamique de la lithosphère.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Enjeux planétaires contemporains

- **De la plante sauvage à la plante domestiquée**

L'objectif de cette partie est d'étudier l'organisation fonctionnelle des plantes, leurs interactions avec le milieu et la manière dont elles se reproduisent par voie sexuée et/ou asexuée en assurant à cette occasion leur dissémination. L'étude de la morphogenèse des plantes (on se limite aux Angiospermes) montre l'existence d'un contrôle hormonal et d'une influence environnementale. On étudie ensuite comment les plantes produisent leur matière organique et une diversité de métabolites nécessaires à leurs fonctions biologiques.

Dans un second temps, cette partie s'intéresse aux plantes cultivées, un enjeu majeur pour l'humanité qui utilise les plantes comme base de son alimentation et dans des domaines variés. Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de comprendre comment l'humanité agit sur le génome et le phénotype des plantes cultivées, et d'appréhender les conséquences de ces actions sur la biodiversité végétale ainsi que sur l'évolution des populations humaines.

Connaissances	**Capacités, attitudes**
L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs	
Par diverses caractéristiques, les plantes terrestres montrent une capacité d'adaptation à la vie fixée à l'interface sol/atmosphère, dans des environnements variables. Les plantes développent de grandes surfaces d'échange, aériennes d'une part (optimisation de l'exposition à la lumière, source d'énergie, transferts de gaz) et souterraines d'autre part (absorption d'eau et d'ions du sol facilitée le plus souvent par des symbioses, notamment les mycorhizes). Des tissus conducteurs canalisent les circulations de matière dans la plante, notamment entre les lieux d'approvisionnement en matière minérale, les lieux de synthèse organique et les lieux de stockage. Le développement d'une plante associe croissance (multiplication cellulaire par mitoses dans les méristèmes, suivie d'élongation cellulaire) et différenciation d'organes (tiges, feuilles, fleurs, racines) à partir de méristèmes. Ce développement conduit à une organisation modulaire en phytomères, contrôlée par des hormones végétales et influencée par les conditions de milieu. ***Notions fondamentales :*** organisation générale d'une plante angiosperme : tige, racine, feuille, stomates, vaisseaux conducteurs ; méristème ; multiplication et élongation, organogenèse. ***Objectifs :*** il s'agit d'aboutir à une compréhension globale de la plante, de ses différents organes et de leurs fonctions. Un schéma fonctionnel synthétique permet de présenter les notions à retenir.	Conduire l'étude morphologique simple d'une plante commune mettant en lien structure et fonction. Estimer (ordre de grandeur) les surfaces d'échange d'une plante par rapport à sa masse ou son volume. Mettre en œuvre un protocole expérimental de localisation des zones d'élongation au niveau des parties aériennes ou souterraines. Étudier les surfaces d'échange des mycorhizes, associations symbiotiques entre champignons et racines de plantes, déjà observées en classe de première. Réaliser et observer des coupes dans des organes végétaux afin de repérer les grands types de tissus conducteurs (phloème, xylème). Étudier et/ou réaliser les expériences historiques sur l'action de l'auxine dans la croissance racinaire ou caulinaire. Établir et mettre en œuvre des protocoles montrant l'influence des conditions de milieu (lumière, gravité, vent) sur le développement de la plante.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

<table>
<tr><td colspan="2">Précisions : l'étude s'appuie uniquement sur l'observation d'une plante en tant qu'organisme. La connaissance de l'anatomie végétale se limite au repérage du phloème, du xylème ainsi qu'à l'indication de leurs rôles – sans mécanisme – dans les échanges entre organes de la plante. La différenciation cellulaire se limite à l'identification de cellules différenciées. La connaissance des mécanismes de la différenciation cellulaire n'est pas attendue, pas plus que l'étude de la diversité et du mode d'action des hormones végétales.
Liens : SVT – classe de seconde : l'organisation fonctionnelle du vivant ; enseignement de spécialité de SVT en classe de première : mycorhizes.</td></tr>
<tr><td colspan="2">La plante, productrice de matière organique</td></tr>
<tr><td>Les parties aériennes de la plante sont les lieux de production de matière organique par photosynthèse. Captée par les pigments chlorophylliens au niveau du chloroplaste, l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique par la photolyse de l'eau, avec libération d'O_2 et réduction du CO_2 aboutissant à la production de glucose et d'autres sucres solubles. Ceux-ci circulent dans tous les organes de la plante où ils sont métabolisés, grâce à des enzymes variées, en produits assurant les différentes fonctions biologiques dont :
la croissance et le port de la plante (cellulose, lignine) ;
le stockage de la matière organique (saccharose, amidon, protéines, lipides) sous forme de réserves dans différents organes, qui permet notamment de résister aux conditions défavorables ou d'assurer la reproduction ;
les interactions mutualistes ou compétitives avec d'autres espèces (anthocyanes, tanins).
Notions fondamentales : chloroplaste, pigments chlorophylliens, photolyse de l'eau, réduction du CO_2, sève brute et sève élaborée, diversité chimique dans la plante.
Objectifs : on s'intéresse ici avant tout au bilan et aux produits de la photosynthèse, à leur diversité et à leur fonction dans les plantes. Les mécanismes moléculaires de la photosynthèse ne sont pas étudiés, pas plus que le détail des formules biochimiques.</td><td>Étudier et/ou mettre en œuvre des expériences historiques sur la photosynthèse.
Réaliser et observer des coupes dans des organes végétaux pour repérer une diversité de métabolites.
Mettre en évidence expérimentalement la présence d'amidon dans les chloroplastes et les amyloplastes de réserve dans des organes spécialisés (graine, fruit, tubercules…).
Mettre en œuvre une coloration afin d'identifier la lignine et la cellulose et d'analyser leur distribution.
Réaliser une chromatographie de pigments végétaux.
Extraire, organiser et exploiter des informations sur les effets antiphytophages, antibactériens ou antioxydants des tanins.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Précisions : les réductions d'autres substances minérales dans le chloroplaste ne sont pas exigibles. On n'attend pas ici une étude expérimentale des processus moléculaires de la photosynthèse, étude que l'on réserve aux produits de la photosynthèse.
Liens : enseignement de SVT en classe de seconde : métabolisme des cellules, classe de première : enseignement scientifique, respiration et apports d'énergie.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Reproduction de la plante entre vie fixée et mobilité</td></tr>
<tr><td>Les plantes ont deux modalités de reproduction : sexuée et asexuée.
La reproduction asexuée repose sur la totipotence des cellules végétales et les capacités de croissance indéfinie des plantes, à partir de presque n'importe quelle partie du végétal (tiges, racines, feuilles).
La reproduction sexuée est assurée chez les</td><td>Mettre en œuvre un protocole de reproduction asexuée (bouturage, marcottage) ou étudier la régénération des petits fragments tissulaires en laboratoire.
Réaliser la dissection d'une fleur entomogame pour mettre en lien</td></tr>
</table>

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Angiospermes par la fleur où se trouvent les gamètes femelles, au sein du pistil, et les grains de pollen, portés par les étamines, vecteurs des gamètes mâles. Chez certaines espèces, la fécondation des gamètes femelles par les gamètes mâles de la même fleur est possible, voire obligatoire. Dans les autres cas, elle est rendue impossible par divers mécanismes d'incompatibilité. La fécondation croisée implique une mobilité des grains de pollen d'une plante à une autre. Dans une majorité de cas, la pollinisation repose sur une collaboration entre plante et pollinisateur en relation avec la structure florale ; le vent peut aussi transporter le pollen. À l'issue de la fécondation, la fleur qui porte des ovules se transforme en un fruit qui renferme des graines. La graine contient l'embryon d'une future plante qu'elle protège (enveloppe résistante) et nourrit à la germination en utilisant des molécules de réserve préalablement accumulées. La dispersion des graines est une étape de mobilité dans la reproduction de la plante. Elle repose sur un mutualisme animal disperseur / plante et sur des agents physiques (vent, eau) ou des dispositifs spécifiques à la plante. ***Notions fondamentales :*** totipotence ; clonage ; fleur : pistil, ovule végétal, étamine, pollen ; fruit ; graine ; pollinisation et dissémination par le vent ou les animaux ; coévolution. ***Objectifs :*** il s'agit de présenter les éléments fondamentaux de la reproduction asexuée et sexuée des plantes angiospermes. L'étude de la fleur puis de la graine est opportunément liée à celle de la plante domestiquée.	structure et fonction. Mettre en évidence, dans l'analyse fonctionnelle d'une fleur, les relations entre une plante et un animal pollinisateur, et leurs éventuelles implications évolutives (coévolution). Mettre en œuvre un protocole de sciences participatives sur les relations plantes/polinisateurs. Mettre en évidence les réserves de la graine et interpréter des expériences historiques sur la germination montrant la mobilisation des réserves de la graine. Mettre en évidence les relations entre une plante et un animal disséminateur de graines.
Précisions : l'étude de la reproduction sexuée se limite à l'examen du rapprochement des gamètes à l'origine de nouveaux organismes. Sont hors programme : la structure du grain de pollen, sa formation, les mécanismes de la double fécondation, les détails des mécanismes d'incompatibilité et les mécanismes de formation de la graine ou du fruit. ***Lien :*** SVT – enseignement de spécialité de la classe terminale : clones, brassage génétique.	
La domestication des plantes	
Les pratiques culturales (par exemple pour la production de graines) constituent un enjeu majeur pour nourrir l'humanité. La sélection (empirique ou programmée) exercée par l'être humain sur les plantes cultivées au cours des siècles a retenu des caractéristiques différentes de celles qui étaient favorables à leurs ancêtres sauvages. Cette sélection s'est opérée au cours de l'établissement d'une relation mutualiste entre plantes et êtres humains. Aujourd'hui, de nombreuses techniques favorisent la création de plus en plus rapide de nouvelles variétés	Comparer une plante cultivée et des populations naturelles voisines présentant un phénotype sauvage. Identifier la diversité biologique de certaines plantes cultivées (tomate, chou, pomme de terre par exemple). Comprendre les enjeux de société relatifs à la production des semences.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

végétales (par hybridation, par utilisation des biotechnologies…). La production de semences commerciales est devenue une activité spécialisée. Une espèce cultivée présente souvent de nombreuses variétés (forme de biodiversité). Cette diversité résulte de mutations dans des gènes particuliers. L'étude des génomes montre un appauvrissement global de la diversité allélique lors de la domestication. La perte de certaines caractéristiques des plantes sauvages (comme des défenses chimiques ou des capacités de dissémination) et l'extension de leur culture favorisent le développement des maladies infectieuses végétales. Ces fragilités doivent être compensées par des pratiques culturales spécifiques. L'exploitation des ressources génétiques (historiques ou sauvages si elles existent) permet d'envisager de nouvelles méthodes de cultures (réduction de l'usage des intrants, limitation des ravageurs par lutte biologique). La domestication des plantes, menée dans différentes régions du monde, a eu des conséquences importantes dans l'histoire des populations humaines. Elle a contribué à la sélection de caractères génétiques humains spécifiques. ***Notions fondamentales :*** plante sauvage, plante domestiquée, diversité génétique, sélection artificielle, coévolution, évolution culturelle. ***Objectifs :*** les élèves comprennent comment l'humanité a domestiqué des espèces végétales variées afin d'optimiser leurs caractéristiques (rendement, facilité de récolte…) au détriment de leur diversité génétique initiale et de leur capacité à se reproduire sans l'intervention humaine. De manière réciproque, les élèves comprennent que la domestication végétale a aussi eu une influence sur l'humanité en étudiant un exemple où l'évolution culturelle du régime alimentaire a entraîné une évolution biologique de populations humaines.	Conduire un projet pour suivre une culture de semences commerciales sur plusieurs générations, en prévoyant un protocole de comparaison des productions obtenues. Identifier des caractères favorisés par la domestication (taille, rendement de croissance, nombre des graines, précocité, déhiscence, couleur…). Recenser, extraire et organiser des informations sur des exemples d'utilisation de biotechnologies pour créer de nouvelles variétés : transgénèse, édition génomique… Recenser, extraire et exploiter des informations concernant des mécanismes protecteurs chez une plante sauvage (production de cuticules, de toxines, d'épines…) et les comparer à ceux d'une plante cultivée. Recenser, extraire et exploiter des informations relatives aux risques induits par l'homogénéisation génétique des populations végétales (sensibilité aux maladies : crise de la pomme de terre en Irlande, conséquence d'une infection virale chez la banane…). Analyser des informations sur la quantité d'amylase salivaire ou sur les gènes de synthèse des omégas 3 dans les populations humaines et établir le lien entre ces éléments et le régime alimentaire de ces populations.
Précisions : il s'agit de distinguer différentes modalités d'action humaine sur le génome des plantes cultivées. Des plantes alimentaires sont étudiées comme exemples, sans visée d'exhaustivité. ***Liens :*** enseignement de SVT – classe de seconde : biodiversité, agrosystèmes ; enseignement de spécialité en classe de première : mutations, écosystèmes.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

- **Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain**

Depuis 150 ans, le climat planétaire présente un réchauffement d'environ 1°C. Les scientifiques pointent le fait que ce changement climatique a des conséquences importantes déjà observables sur la météorologie, la biosphère et l'humanité.

L'objectif de ce thème est de s'approprier les outils nécessaires pour appréhender les enjeux climatiques contemporains en établissant des comparaisons avec différents exemples de variations climatiques passées. Il s'agit en particulier de comprendre que les méthodes d'étude et les mécanismes expliquant les variations constatées peuvent être de natures différentes. Certains mécanismes, déjà étudiés, sont réactivés dans ce contexte. Après avoir compris les causes et la dynamique des variations climatiques passées et mobilisé ses acquis précédents (cycle du carbone, effet de serre, circulation océanique…), l'élève peut aborder les enjeux contemporains liés au réchauffement climatique : ses conséquences sur la biosphère et l'humanité, mais aussi les possibilités envisagées en matière d'atténuation et d'adaptation. L'étude du réchauffement climatique, celle de ses causes mais aussi de ses conséquences sur l'atmosphère et sur les océans sont abordées en complémentarité par l'enseignement scientifique dispensé en classe terminale.

Connaissances	**Capacités, attitudes**
Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées	
D'environ 1°C en 150 ans, le réchauffement climatique observé au début du XXIe siècle est corrélé à la perturbation du cycle biogéochimique du carbone par l'émission de gaz à effet de serre liée aux activités humaines. À l'échelle du Quaternaire, des données préhistoriques, géologiques et paléo-écologiques attestent l'existence, sur la période s'étendant entre -120 000 et -11 000 ans, d'une glaciation, c'est-à-dire d'une période de temps où la baisse planétaire des températures conduit à une vaste extension des calottes glaciaires. Les témoignages glaciaires (moraines), la mesure de rapports isotopiques de l'oxygène dans les carottes polaires antarctiques et les sédiments font apparaître une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires durant les derniers 800 000 ans. Les rapports isotopiques montrent des variations cycliques coïncidant avec des variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre. Celles-ci ont modifié la puissance solaire reçue et ont été accompagnées de boucles de rétroactions positives et négatives (albédo lié à l'asymétrie des masses continentales dans les deux hémisphères, solubilité océanique du CO_2) ; elles sont à l'origine des entrées et des sorties de glaciation. Globalement, à l'échelle du Cénozoïque, et depuis 30 millions d'années, les indices géochimiques des sédiments marins montrent une tendance générale à la baisse de température moyenne du globe. Celle-ci apparaît associée à une baisse de la	Mettre en évidence l'amplitude et la période des variations climatiques étudiées à partir d'une convergence d'indices. Mobiliser les connaissances acquises sur les conséquences des activités humaines sur l'effet de serre et sur le cycle du carbone. Rassembler et confronter une diversité d'indices sur le dernier maximum glaciaire et sur le réchauffement de l'Holocène (changement de la mégafaune dans les peintures rupestres, cartographie des fronts morainiques, construction et utilisation de diagrammes polliniques, terrasses, paléoniveaux marins…). Comprendre et utiliser le concept de thermomètre isotopique ($\delta^{18}O$ dans les glaces arctiques et antarctiques, $\delta^{18}O$ dans les carbonates des sédiments océaniques) pour reconstituer indirectement des variations de températures. Mettre les variations temporelles des paramètres orbitaux, définis par Milankovitch, en relation avec les variations cycliques des températures au Quaternaire. Exploiter la carte géologique du monde pour calculer les vitesses d'extension

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

concentration atmosphérique de CO_2 en relation avec l'altération des matériaux continentaux, notamment à la suite des orogénèses du Tertiaire. De plus, la variation de la position des continents a modifié la circulation océanique. Au Mésozoïque, pendant le Crétacé, les variations climatiques se manifestent par une tendance à une hausse de température. Du fait de l'augmentation de l'activité des dorsales, la géodynamique terrestre interne semble principalement responsable de ces variations. Au Paléozoïque, des indices paléontologiques et géologiques, corrélés à l'échelle planétaire et tenant compte des paléolatitudes, révèlent une importante glaciation au Carbonifère-Permien. Par la modification du cycle géochimique du carbone qu'elles ont entraînée, l'altération de la chaîne hercynienne et la fossilisation importante de matière organique (grands gisements carbonés) sont tenues pour responsables de cette glaciation. ***Notions fondamentales :*** effet de serre, gaz à effet de serre, cycle du carbone, cycles de Milankovitch, albédo, principe d'actualisme, rapports isotopiques ($\delta^{18}O$), tectonique des plaques, circulation océanique. ***Objectifs :*** pour comprendre les variations climatiques, l'élève identifie les méthodes de mesure les plus adéquates, comprend les mécanismes potentiellement responsables de ces évolutions et acquiert une idée générale de l'amplitude thermique des variations climatiques reconstruites depuis le début du Paléozoïque. Au terme de son étude, il est capable de formuler des hypothèses explicatives sur les spécificités du réchauffement climatique à la lueur de ses connaissances des climats passés. Il exerce un regard critique sur tous les biais d'interprétation pouvant affecter la compréhension de systèmes complexes impliquant de nombreux phénomènes.	des dorsales aux périodes considérées. Utiliser les connaissances acquises sur la géodynamique interne et la tectonique des plaques pour comprendre leur rôle sur le climat et mettre en relation la nature des roches formées avec les paléoclimats du Crétacé. Reconstituer l'extension de la glaciation permienne à partir de la distribution des tillites. Reconstituer un paléoclimat local à partir d'une variété d'indices paléontologiques ou géologiques en tenant compte de la paléo-latitude (ex : paléobiocénose des forêts carbonifères de Montceau-les-Mines par rapport à d'autres indices localisés à d'autres endroits de la planète). Exploiter des bases de données pour reconstituer les paléoceintures climatiques. Exploiter les équations chimiques associées aux transformations d'origines géologiques pour modéliser les modifications de la concentration en CO_2 atmosphérique. Mobiliser les acquis antérieurs sur le cycle du carbone biosphérique et les enrichir des connaissances sur les réservoirs géologiques (carbonates, matière organique fossile) et leurs interactions. Discuter de l'existence d'indices pas toujours cohérents avec l'amplitude, la période et la temporalité des variations climatiques pour des raisons résolues (exemples des terrasses fluviatiles) ou encore à résoudre (petit âge glaciaire).
Précisions : la distinction entre climat et météorologie, le mécanisme de l'effet de serre, le cycle biochimique du carbone et l'étude du réchauffement climatique ont été précédemment abordés (collège, enseignement scientifique, enseignement de spécialité). Ces notions ne sont pas redéveloppées en enseignement de spécialité mais les acquis sont attendus. Selon les exemples de variations climatiques étudiés, il convient que les élèves soient capables de réutiliser les outils connus et de mobiliser les connaissances qu'ils ont auparavant acquises. De même, d'autres exemples de variations climatiques ou de mécanismes associés peuvent être évoqués mais ne sont pas des attendus. ***Liens :*** SVT – classe de seconde : érosion des paysages, enseignement de spécialité en classe de première : services écosystémiques ; enseignement scientifique en classe de première : Soleil, source d'énergie. Physique-chimie, enseignement de spécialité en classe terminale : réactions chimiques, isotopes ; mathématiques, enseignement de spécialité en	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

classe terminale, mathématiques complémentaires, enseignement optionnel en classe terminale : modélisation statistique.	
Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions	
Un effort de recherche scientifique majeur est mené depuis quelques dizaines d'années pour élaborer un modèle robuste sur le changement climatique, ses causes et ses conséquences, et pour définir les actions qui peuvent être conduites pour y faire face. En dehors des effets abiotiques, le réchauffement climatique a des impacts importants sur la biodiversité et la santé humaine : par des effets directs sur les populations (effectifs, état sanitaire, répartition à la surface du globe) et sur leur évolution ; par des effets indirects liés aux perturbations des écosystèmes naturels et agricoles (approvisionnement et régulation). L'augmentation de la concentration en CO_2 favorise la production de biomasse, mais des difficultés peuvent résulter de la faible disponibilité des terres agricoles suite à la désertification ou à la montée du niveau marin, à la diffusion de pathogènes, à l'évolution de la qualité des sols et des apports en eau). Aux niveaux individuel et collectif, il convient de mener des recherches et d'entreprendre des actions : en agissant par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (les bénéfices et inconvénients de méthodes de stockage du carbone sont à l'étude) ; en proposant des adaptations. Il existe, dans différents pays, des plans d'action bâtis sur un consensus scientifique, dont l'objectif est de renforcer l'acquisition des connaissances, ainsi que l'évaluation éclairée et modulable des stratégies mises en place. ***Notions fondamentales :*** élaboration du consensus scientifique, stratégies d'atténuation et d'adaptation. ***Objectifs :*** plusieurs éléments de cette partie sont abordés en enseignement scientifique de la classe terminale. Ils sont mobilisés ici comme outils d'analyse. Il ne s'agit pas de réaliser un catalogue des conséquences du réchauffement climatique ni des actions d'atténuation et d'adaptation possibles. À partir d'un nombre réduit d'exemples, il s'agit de réinvestir les connaissances et outils vus précédemment pour comprendre un problème donné, à partir d'un corpus d'informations fournies. On veille à une complémentarité avec ce qui est développé en enseignement scientifique. On cherche aussi, dans la mesure du possible, à favoriser une démarche de	Montrer comment le travail des scientifiques permet de disposer de modèles et d'arguments qui peuvent orienter les décisions publiques. Prendre conscience que certains biais cognitifs doivent être surmontés (confusion entre météorologie et climatologie, mauvaise appréhension des échelles de temps, méconnaissance des données scientifiques, confusion entre corrélation et causalité). Réaliser et /ou analyser un suivi de long terme de la distribution spatiale des espèces face au réchauffement climatique (déplacement en altitude ou en latitude, invasions biologiques…). Suivre et analyser l'évolution d'un service écosystémique (dépollution de l'eau et de l'air, lutte contre l'érosion, fixation de carbone…). Concevoir et mettre en œuvre une ou plusieurs démarches de projet pour comprendre et évaluer dans sa complexité une stratégie d'atténuation ou d'adaptation en réponse aux problèmes posés par le changement climatique. Mobiliser les modèles de cycle du carbone pour quantifier les mesures individuelles et collectives d'atténuation nécessaires pour limiter le réchauffement climatique. Comparer les bénéfices/inconvénients de différentes stratégies de stockage du carbone (agriculture et sylviculture, puits miniers…). Recenser, extraire et exploiter des informations sur les politiques d'adaptation (exemple du plan national d'action sur le changement climatique - PNACC) pour identifier les mécanismes et les bénéfices de différentes méthodes (digue et

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

projet en étudiant un exemple de manière approfondie, en insistant sur les méthodes d'études, d'évaluation et de synthèse (revues systématiques, méta-analyses). On insiste enfin sur la complémentarité entre atténuation et adaptation, entre démarche individuelle et démarche collective, et entre politiques nationales et internationales, pour faire face au réchauffement climatique.	naturalisation des côtes contre l'érosion, végétalisation des villes, prévention et suivi des maladies infectieuses…).
Précisions : une connaissance détaillée des différentes stratégies d'atténuation et d'adaptation n'est pas attendue. ***Liens :*** SVT – classe de seconde : agrosystèmes ; enseignement de spécialité en classe de première : services écosystémiques ; enseignement scientifique en classe terminale : « Science, climat et société ».	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Corps humain et santé

Les élèves abordent ce thème par une approche comportementale. Le comportement est défini comme un ensemble de réactions observables chez un animal en réponse à des stimulations. Il est souvent lié à la notion de mouvement, qu'il soit réflexe ou volontaire (fuite, défense, agression, équilibre, prise d'objet…). On s'intéresse ici aux mécanismes physiologiques sous-jacents.

L'étude d'un réflexe puis du mouvement volontaire montre la mise en jeu des systèmes articulo-musculaires et nerveux dans l'organisme, et permet d'aborder la plasticité cérébrale. Les besoins en énergie pour la contraction musculaire sont identifiés, mettant en évidence les flux de glucose et leurs contrôles par le système endocrinien. Les modifications de l'environnement, notamment la présence d'agents stresseurs, influencent les comportements d'un organisme. L'étude des mécanismes physiologiques du stress met en évidence l'intégration des différents systèmes en jeu, et enrichit la notion de rétrocontrôle, dans le prolongement des acquis de la classe de seconde sur la régulation (axe hypothalamo-hypophysaire). Ce thème aboutit à une vision intégrée des systèmes physiologiques qui permettent de maintenir des équilibres dans l'organisme.

Les élèves sont amenés à interroger les enjeux de santé individuelle et collective soulevés par les comportements évoqués. Les éléments abordés s'inscrivent dans la progressivité des apprentissages du collège, de la classe de seconde et des enseignements de la classe de première (enseignement de spécialité de SVT et enseignement scientifique).

- **Comportements, mouvement et système nerveux**

La contraction musculaire, mobilisée dans de nombreux comportements, résulte d'une commande nerveuse. Le mouvement induit peut être involontaire et lié à un réflexe, ou volontaire. Dans les deux cas, le système nerveux central intervient, mais de manières différentes. Le réflexe myotatique peut servir d'outil pour apprécier l'intégrité du système neuromusculaire. La transmission du message nerveux et le fonctionnement du neurone, déjà abordés au collège, voient ici leur étude approfondie pour conduire finalement à l'étude du fonctionnement du cerveau et de sa plasticité, déjà abordée dans le cas de la fonction auditive en enseignement scientifique de la classe de première.	
Connaissances	**Capacités, attitudes**
Les réflexes	
Les réflexes mettent en jeu différents éléments qui constituent l'arc-réflexe. À partir d'une sensation de départ (stimulus) captée par un récepteur sensoriel, un message nerveux codé en potentiels d'action est élaboré. Il circule dans les neurones sensoriels jusqu'au centre nerveux (corne dorsale de la moelle épinière) où se produit le relais synaptique sur le neurone-moteur. Celui-ci conduit le message nerveux jusqu'à la synapse neuromusculaire, qui met en jeu l'acétylcholine. La formation puis la propagation d'un potentiel d'action dans la cellule musculaire entraînent l'ouverture de canaux calciques à l'origine d'une augmentation de la concentration cytosolique en ions calcium, provenant du réticulum sarcoplasmique pour les muscles	Mettre en évidence les éléments de l'arc-réflexe à partir de matériels variés (enregistrements, logiciels de simulation). Réaliser, observer des coupes histologiques de fibres et de nerfs. Observer des coupes histologiques de moelle épinière. Interpréter des électronographies afin de caractériser le fonctionnement d'une synapse chimique.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

squelettiques. Cela induit la contraction musculaire et la réponse motrice au stimulus. ***Notions fondamentales :*** éléments fonctionnels de l'arc-réflexe ; muscles antagonistes ; caractéristiques structurales et fonctionnelles du neurone ; éléments structurels des synapses neuro-neuronale et neuromusculaire ; codage électrique en fréquence ; codage biochimique en concentration.	
Précisions : il s'agit de choisir un réflexe impliquant peu de neurones, comme le réflexe myotatique. Concernant le potentiel d'action, les mécanismes liés au fonctionnement des canaux voltage-dépendants ne sont pas au programme. Le fonctionnement des canaux calciques dans la cellule musculaire n'est pas détaillé. ***Liens :*** éducation à la santé : test médical du réflexe myotatique, conséquences des lésions médullaires, action des drogues.	
Cerveau et mouvement volontaire	
Le cerveau est composé de neurones et de cellules gliales assurant le bon fonctionnement de l'ensemble. L'exploration du cortex cérébral permet de situer les aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires. Les messages nerveux moteurs qui partent du cerveau cheminent par des faisceaux de neurones qui « descendent » dans la moelle jusqu'aux neurones-moteurs. Le corps cellulaire du neurone-moteur reçoit des informations diverses qu'il intègre sous la forme d'un message moteur unique et chaque fibre musculaire reçoit le message d'un seul neurone moteur. Certains dysfonctionnements du système nerveux modifient le comportement et ont des conséquences sur la santé. L'apprentissage ou la récupération de la fonction cérébrale après un accident reposent sur une capacité essentielle : la plasticité cérébrale. ***Notions fondamentales :*** intégration par le neurone moteur, sommation temporelle et spatiale, aire motrice, plasticité cérébrale. ***Objectifs :*** en s'appuyant sur l'exploitation d'images cérébrales simples, il s'agit de montrer l'existence d'une commande corticale du mouvement.	Observer au microscope des coupes de système nerveux central et/ou extraire, exploiter des informations sur le rôle des cellules gliales. Utiliser un logiciel de visualisation et/ou extraire et exploiter des informations, notamment à partir d'IRMf, afin de caractériser les aires motrices cérébrales. Recenser, extraire et exploiter des informations permettant de : comprendre et prévenir certains dysfonctionnements nerveux (par exemple : accident vasculaire cérébral, maladies neuro-dégénératives, infections virales…) ; mettre en évidence la plasticité du cortex à partir de situations d'apprentissages ou de récupération post-dysfonctionnement.
Le cerveau, un organe fragile à préserver	
Les aires corticales communiquent entre elles par des voies neuronales où se propagent des potentiels d'action dont la fréquence d'émission est modulée par un ensemble de neurotransmetteurs. La prise de substances exogènes (alcool, drogues) peut entraîner la perturbation des messages nerveux et provoquer des comportements addictifs. ***Notions fondamentales :*** neurotransmetteur, molécules exogènes.	Extraire des informations pour comprendre certains comportements addictifs face à des molécules exogènes. Utiliser un logiciel de modélisation et visualisation moléculaire pour comparer neurotransmetteurs et molécules exogènes.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Précisions : l'étude de la cellule spécialisée, menée en classe de seconde, est réinvestie dans le cadre de l'examen des neurones (forme, cytosquelette, vésicules…). Un seul exemple de dysfonctionnement du système nerveux est traité. Le système de récompense, découvert en classe de seconde, peut être réinvesti lors de l'étude de certaines addictions. ***Liens :*** SVT – collège : message nerveux et neurone ; classe de seconde : cellule spécialisée et système de récompense.

- **Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie**

Les mouvements mobilisent les muscles. Les organismes pluricellulaires sont constitués de cellules ayant des particularités différentes selon l'organe auxquels elles appartiennent. La cellule musculaire dispose d'une organisation structurale lui permettant de se raccourcir, ce qui entraîne la contraction du muscle. Elle a besoin d'énergie apportée sous forme d'ATP, produit à partir du glucose. L'approvisionnement des cellules musculaires en glucose nécessite le maintien de la concentration de glucose sanguin, régulé par des hormones.

Connaissances	**Capacités, attitudes**
La cellule musculaire : une structure spécialisée permettant son propre raccourcissement	
Le muscle strié est un ensemble de cellules musculaires dites striées, organisées en faisceaux musculaires. Le raccourcissement et l'épaississement des muscles lors de la contraction musculaire permettent le mouvement relatif des deux os auxquels ils sont reliés par des tendons. La cellule musculaire, cellule spécialisée, est caractérisée par un cytosquelette particulier (actine et myosine) permettant le raccourcissement de la cellule. La contraction musculaire nécessite des ions calcium et l'utilisation d'ATP comme source d'énergie. Dans certaines myopathies, la dégénérescence des cellules musculaires est due à un défaut dans les interactions entre les protéines membranaires des cellules et la matrice extra-cellulaire. ***Notions fondamentales :*** fonctionnement musculaire, contraction, relâchement, ATP.	Réaliser et/ou observer au microscope optique et au microscope électronique des préparations de cellules musculaires striées, pour enrichir la notion de cellule eucaryote spécialisée. Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et/ou manipuler (dissections, maquettes…) pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire. Utiliser un logiciel de modélisation moléculaire pour observer le pivotement des têtes de myosine. Remobiliser les acquis sur la matrice extracellulaire à travers l'exemple d'une myopathie.

Précisions : les mécanismes moléculaires de la contraction musculaire (complexe actine-myosine) sont principalement abordés pour introduire le besoin d'énergie à l'origine du mouvement. On se limite au muscle strié squelettique. Les interactions moléculaires entre troponine et tropomyosine ne sont pas attendues. L'étude exhaustive d'une myopathie n'a pas à être effectuée ; il s'agit plutôt de mobiliser les acquis de la classe de seconde sur la matrice extra-cellulaire et ceux de la classe de première sur les mutations à l'origine de myopathies.

Liens : SVT – collège : cellule, activité musculaire ; classe de seconde : cellules spécialisées et matrice.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

<table>
<tr><th colspan="2">Origine de l'ATP nécessaire à la contraction de la cellule musculaire</th></tr>
<tr><td>L'énergie est apportée sous forme de molécules d'ATP à toutes les cellules. Il n'y a pas de stockage de l'ATP, cette molécule est produite par les cellules à partir de matière organique, notamment le glucose.
L'oxydation du glucose comprend la glycolyse (dans le hyaloplasme) puis le cycle de Krebs (dans la mitochondrie) : dans leur ensemble, ces réactions produisent du CO_2 et des composés réduits NADH, H+. La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits, par la réduction de dioxygène en eau. Ces réactions conduisent à la production d'ATP qui permet les activités cellulaires.
Il existe une autre voie métabolique dans les cellules musculaires, qui ne nécessite pas d'oxygène et produit beaucoup moins d'ATP.
Les métabolismes anaérobie ou aérobie dépendent du type d'effort à fournir.
Des substances exogènes peuvent intervenir sur la masse ou le métabolisme musculaire, avec des effets parfois graves sur la santé.
Notions fondamentales : respiration cellulaire, glycolyse, cycle de Krebs, fermentation lactique, rendement, produits dopants.</td><td>Réaliser des expérimentations assistées par ordinateur (ExAO) : respiration cellulaire et/ou fermentation.
Extraire et organiser des informations pour identifier les différentes voies métaboliques.
Observer des électronographies de mitochondries.
Calculer le rendement en kJ (ou nombre de molécules d'ATP) de la fermentation lactique et de la respiration cellulaire, pour une même quantité de glucose.
Localiser les réactions métaboliques nécessaires à la contraction musculaire dans une cellule.
Extraire et mettre en relation des informations sur un produit dopant et ses conséquences sur l'organisme.</td></tr>
<tr><td colspan="2">***Précisions :*** un schéma global de l'organisme récapitule les flux des gaz respiratoires et les échanges de nutriments. On précise l'intérêt pour le métabolisme d'une bonne oxygénation durant l'effort physique ainsi que le rôle de la récupération physique. Un seul exemple, au choix du professeur, est choisi pour aborder les produits dopants.
Liens : SVT – classe de seconde : notion de cellules spécialisées et métabolisme ; enseignement de spécialité en classe de première : catalyse enzymatique. Éducation physique et sportive : gestion de l'effort ; éducation à la santé : dangerosité de la prise de produits dopants ; effets de l'entraînement.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Le contrôle des flux de glucose, source essentielle d'énergie des cellules musculaires</th></tr>
<tr><td>Les cellules musculaires ont besoin de nutriments, principalement de glucose et de dioxygène, puisés dans le sang.
Les réserves de glucose se trouvent sous forme de glycogène dans les cellules musculaires et dans les cellules hépatiques. Elles servent à entretenir des flux de glucose, variables selon l'activité, entre les organes sources (intestin et foie) et les organes consommateurs (dont les muscles).
La glycémie est la concentration de glucose dans le sang, maintenue dans un intervalle relativement étroit autour d'une valeur d'équilibre proche de $1 g.L^{-1}$. Elle dépend des apports alimentaires et est régulée par deux hormones sécrétées par le pancréas.
Un dysfonctionnement de la régulation de la glycémie</td><td>Comparer la consommation de glucose par l'organisme au repos et celles en activité musculaire, en période postprandiale et à jeun.
Réaliser un protocole expérimental en se fondant sur une démarche historique (par exemple expérience dite du foie lavé).
Observer des coupes histologiques de pancréas sain et de pancréas diabétique.
Identifier l'effet de différents aliments sur les variations de la glycémie et la sécrétion d'insuline.</td></tr>
</table>

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

entraîne des complications qui peuvent être à l'origine de diabètes. L'insuline entraîne l'entrée de glucose dans les cellules musculaires (et hépatiques) et le glucagon provoque la sortie du glucose des cellules hépatiques, grâce à des protéines membranaires transportant le glucose. ***Notions fondamentales :*** hormones hyper et hypo glycémiantes, système de régulation, organisation fonctionnelle du pancréas endocrine, récepteurs à insuline et à glucagon, diabète insulinodépendant ou non insulinodépendant.	
Précisions : l'étude de la régulation de la glycémie par l'insuline et le glucagon permet de mobiliser des acquis de la classe de seconde dans le cadre de l'examen d'un système de régulation hormonale et des flux de matière entre cellules d'un organisme pluricellulaire. Les acquis du collège sur l'alimentation sont mobilisés. Les autres mécanismes de régulation de la glycémie ne sont pas attendus. On précise à cette occasion l'origine de certains diabètes (absence de sécrétion d'insuline ou/et insulino résistance) et la nécessité d'une reconnaissance entre hormones et récepteurs. La connaissance de la diversité des facteurs impliqués dans le déclenchement des diabètes n'est pas attendue. ***Liens :*** SVT – collège : besoins d'un organe, sources d'énergie, activité musculaire dans le cadre de l'effort ; classe de seconde : régulation hormonale et procréation ; enseignement de spécialité en classe de première : système immunitaire ; enseignement scientifique en classe de première: organisation de la membrane plasmique. Éducation à l'alimentation, éducation à la santé.	

- **Comportements et stress : vers une vision intégrée de l'organisme**

Pour faire face aux perturbations de son environnement, l'organisme est capable de s'adapter : il dispose d'un ensemble de réponses adaptatives, rassemblées sous le terme de stress biologique, qui permettent un comportement approprié à la situation. Le système nerveux est impliqué dans ces mécanismes physiologiques et interagit avec les autres systèmes biologiques de l'organisme. Il s'agit d'une réponse normale de l'organisme (stress aigu). À plus long terme, la structure et le fonctionnement du cerveau peuvent être perturbés (stress chronique). L'étude de l'exemple du stress permet de comprendre la notion de boucle de régulation complète en abordant la notion de rétrocontrôle, de discerner les liens entre les systèmes physiologiques (endocrinien, nerveux, immunitaire) et d'aborder la notion de résilience. Les élèves sont sensibilisés aux dangers des médicaments « anti-stress » et à l'existence d'alternatives non médicamenteuses pour gérer le stress.	
Connaissances	**Capacités, attitudes**
L'adaptabilité de l'organisme	
Face aux perturbations de son environnement, l'être humain dispose de réponses adaptatives impliquant le système nerveux et lui permettant de produire des comportements appropriés. Le stress aigu désigne ces réponses face aux agents stresseurs. La réponse de l'organisme est d'abord très rapide : le système limbique est stimulé, en particulier les zones impliquées dans les émotions telles que l'amygdale.	Recenser, extraire et exploiter des informations pour visualiser la libération différenciée dans le temps de l'adrénaline et du cortisol et leurs effets. Interpréter des données d'imagerie médicale et/ou d'électrophysiologie sur l'activité neuronale de certaines

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Cela a pour conséquence la libération d'adrénaline par la glande médullo-surrénale. L'adrénaline provoque une augmentation du rythme cardiaque, de la fréquence respiratoire et la libération de glucose dans le sang. Une autre conséquence des agents stresseurs au niveau cérébral est la sécrétion de CRH par l'hypothalamus : le CRH met à contribution l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien, entrainant dans un second temps la libération du cortisol. Le cortisol favorise la mobilisation du glucose et inhibe certaines fonctions (dont le système immunitaire). Le cortisol exerce en retour un rétrocontrôle négatif sur la libération de CRH par l'hypothalamus et favorise le rétablissement de conditions de fonctionnement durable (résilience). Ces différentes voies physiologiques sont coordonnées au sein d'un système, qualifié de complexe, et permettent l'adaptabilité de l'organisme. ***Notions fondamentales :*** stress aigu, agents stresseurs, axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien, CRH, adrénaline, cortisol, rétrocontrôle, système limbique (amygdale, hippocampe), résilience, adaptabilité, système complexe. ***Objectifs :*** il s'agit d'aborder le système nerveux de manière intégrée, en lien avec les autres systèmes biologiques. C'est l'occasion aussi de construire une boucle de régulation neuro-hormonale complète.	zones cérébrales en réponse à des agents stresseurs. Observer des coupes histologiques de glande surrénale. Extraire et organiser des informations pour schématiser la boucle de régulation neuro-hormonale. Positionner sur un schéma bilan les interactions entre les trois systèmes nerveux, endocrinien, immunitaire. Utiliser un modèle pour expliquer la notion de boucle de régulation neurohormonale et la notion de résilience.
Précisions : les élèves distinguent la notion d'adaptation évolutive de celle d'adaptabilité physiologique (impliquant un ensemble de réponses adaptatives de l'individu à des variations locales de son environnement). On ne détaille pas les mécanismes expliquant l'effet inhibiteur du cortisol sur le système immunitaire. Dans l'étude des dimensions multiples et liées du stress, on évoque le fait que de nombreux facteurs peuvent intervenir (psychologiques, sociaux, émotionnels, génétiques) dans la réponse physiologique de l'individu. Sans chercher à développer ces facteurs, il s'agit de sensibiliser au fait que les variations interindividuelles peuvent avoir des origines multiples. ***Liens*** *:* SVT – collège : rôle du cerveau dans l'intégration d'informations multiples (messages nerveux, nerfs, cellules nerveuses) ; comportements et effets sur le système nerveux (hygiène de vie, dopages) ; classe de seconde : cerveau et axe hypothalamo-hypophysaire.	
L'organisme débordé dans ses capacités d'adaptation	
Si les agents stresseurs sont trop intenses ou si leur action dure, les mécanismes physiologiques sont débordés et le système se dérègle. C'est le stress chronique. Il peut entraîner des modifications de certaines structures du cerveau, notamment du système limbique et du cortex préfrontal. Cette forme de plasticité, dite mal-adaptative, se traduit par d'éventuelles perturbations de l'attention, de la mémoire et des performances cognitives.	Interpréter des données cliniques et expérimentales montrant les effets du stress chronique sur la structuration des voies neuronales. Interpréter des données médicales et d'imagerie montrant les effets possibles du CRH sur l'amygdale et l'hippocampe à long terme. Recenser et exploiter des informations sur le mode d'action

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

Ces dérèglements engendrent diverses pathologies qui sont traitées par des médicaments dont l'effet vise à favoriser la résilience. La prise de ces médicaments, comme les benzodiazépines dans le cas de l'anxiété, doit suivre un protocole rigoureux afin de ne pas provoquer d'autres perturbations notamment une sédation et des troubles de l'attention. Certaines pratiques non médicamenteuses sont aussi susceptibles de limiter les dérèglements et de favoriser la résilience du système. Chaque individu est différent face aux agents stresseurs, le stress intégrant des dimensions multiples et liées. ***Notions fondamentales :*** stress chronique, système limbique (amygdale, hippocampe), cortex préfrontal, plasticité du système nerveux, résilience. ***Objectifs :*** après avoir montré la robustesse du système nerveux dans le cas du stress aigu, on aborde ici sa fragilité, dans le cas du stress chronique ; il s'agit de montrer que l'adaptabilité d'un système complexe peut être débordée.	des benzodiazépines pour montrer leur activation des récepteurs à GABA (un neurotransmetteur inhibiteur du système nerveux) et leur effet myorelaxant et anxiolytique. Utiliser un logiciel de modélisation moléculaire pour illustrer la complémentarité entre une molécule et son récepteur. Concevoir et/ou mettre en œuvre une démarche de projet visant à élaborer un protocole pour tester l'effet de certaines pratiques alternatives (ex : mouvements respiratoires) à court ou long terme, en analyser les limites et comparer à un corpus de données scientifiques.
Précisions : on sensibilise les élèves aux risques liés à la prise sans contrôle médical de médicaments agissant sur le système nerveux, et on présente l'existence d'alternatives non médicamenteuses (pratiques favorisant le sommeil, le contrôle de la respiration et la détente musculaire) permettant une meilleure gestion du stress, utiles par exemple dans le cadre de vie quotidienne d'un lycéen (examens…). ***Liens :*** SVT – classe de seconde : cerveau et axe hypothalamo-hypophysaire ; enseignement de spécialité de SVT en classe de première : résilience en lien avec la partie écosystèmes. Éducation à la santé : drogues, gestion du stress.	

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse > www.education.gouv.fr

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPECIALITE

GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION

Thème

Thème 1 - La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de préciser le sens qu'il est possible d'attribuer aux différentes parties du programme. Cette contribution au sens repose notamment sur les liens avec des enjeux éducatifs, la cohérence avec les programmes des autres niveaux, l'identification des fondamentaux à construire, des problématisations possibles pour contextualiser.

Mots-clés

Clone, brassage génétique inter- et intrachromosomique au cours de la méiose, diversité des gamètes, stabilité des caryotypes, distinction reproduction et sexualité, diversification génomique, transferts génétiques horizontaux versus verticaux, endosymbiose, hérédité cytoplasmique, phylogénies, mutation, sélection, dérive, évolution, hérédité non fondée sur l'ADN, transmission et évolution culturelles.

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs 2
- Enjeux 2
- Finalités 2
- Problématiser 3

Vision synoptique du sous-thème 4
- Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 4
- Notions à consolider, notions à construire, limites 4
- Le sous-thème en quatre tableaux synthétiques 7

Ressources 11
- Le point sur la loi de Hardy-Weinberg 11
- Le point sur les transferts horizontaux 12
- Le point sur les endosymbioses 17
- Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques 19
- Bibliographie 19

Retrouvez éduscol sur

Enjeux éducatifs

Ce thème s'inscrit dans la continuité de l'étude de l'évolution biologique commencée au collège et poursuivie dans l'enseignement de spécialité du cycle terminal. Il est l'occasion d'approfondir la compréhension des mécanismes contribuant à la diversification du vivant. Cette logique d'approfondissement des acquis ne se centre pas uniquement sur des connaissances fondamentales en termes de mécanismes liés à la reproduction sexuée et à la diversification des génomes.

On se place ici dans une perspective évolutive permettant aux élèves d'identifier une diversité de mécanismes impliqués dans l'évolution du vivant et de relier ces mécanismes à leurs conséquences évolutives à l'échelle des individus, des populations et des écosystèmes. Il ne s'agit donc pas d'étudier les mécanismes génétiques et non génétiques pour eux-mêmes.

Enjeux

Plusieurs enjeux éducatifs, susceptibles d'être problématisés, sont à considérer.

Des enjeux de santé individuelle et de santé publique

- Les connaissances relatives aux transferts horizontaux, aux virus vecteurs, à l'évolution des résistances bactériennes, aux microbiotes, sont des axes très concrets de la recherche en médecine (cancer, lutte contre les maladies infectieuses…).
- Les pratiques de santé humaine sont concernées.
- Les tests génétiques et dépistage des maladies génétiques / test hérédité.

Des enjeux de formation scientifique et de formation du citoyen

- Les élèves ont une nouvelle fois l'occasion de discuter des limites d'un modèle (loi Hardy Weinberg) et donc d'identifier ce que sont des opinions, des faits, des théories.
- La connaissance du génome pose de façon toujours plus aigüe la question des différents dépistages et renvoie à des débats en bioéthique.
- Les élèves intégrent que les avancées technologiques permettent une avancée fulgurante de nos connaissances (il ne faut maintenant que 44 heures pour séquencer la totalité du génome humain d'un individu), mais posent également des débats éthiques.
- La génomique, la bio-informatique sont des voies professionnelles en plein essor.

Des enjeux en éducation au développement durable :

- Par les applications de la génomique en agriculture (domestication des plantes…).
- Par des applications dans la conservation et la restauration de milieux naturels.

Finalités

Cette partie du programme peut contribuer à :

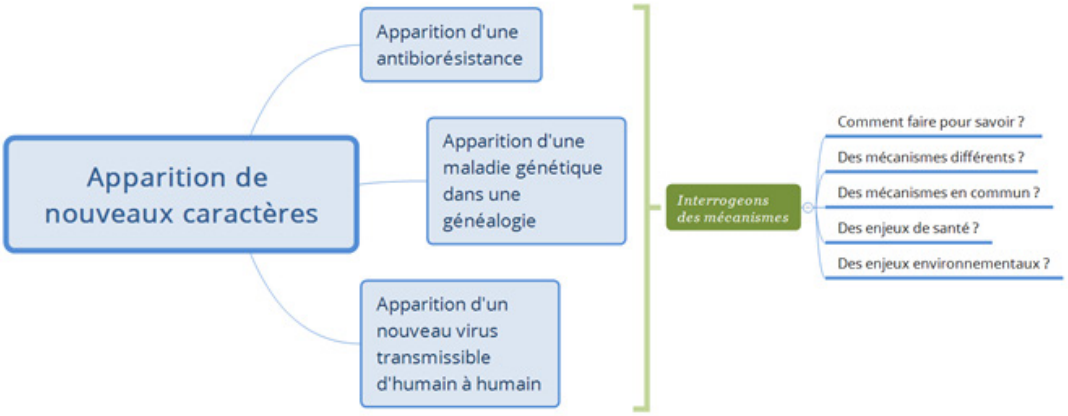
- la formation de l'esprit critique et scientifique au regard du négationnisme de l'évolution, et leur permettre d'établir une relation scientifique avec les phénomènes naturels et biologiques ;
- la construction d'un projet d'orientation (parcours avenir) par la découverte des métiers émergeants (recherches, biotechnologie, génie génétique, modélisation numérique des systèmes biologiques, ingénierie environnementale, géomatique, etc…) en lien avec les

enjeux écosystémiques, économiques, de santé, de la protection de la biodiversité ;

- à développer chez eux les connaissances et compétences nécessaires pour réaliser des choix éclairés en matière d'**aménagement du territoire**, de développement durable et de santé en abordant par exemple la question de la propagation des résistances bactériennes aux antibiotiques étroitement liés aux habitus individuels de consommation d'antibiotiques.

Problématiser

L'exemple d'heuristique ci-dessous part d'une problématisation possible, prenant appui sur des constats de caractères qui « apparaissent ».



Une démarche scientifique de recherche de preuves nécessitant de convoquer plusieurs parties peut s'engager.

Les méthodologies de recherche sont bien souvent communes pour l'étude scientifique des trois cas évoqués : observations diverses en microscopie, séquençage, etc.

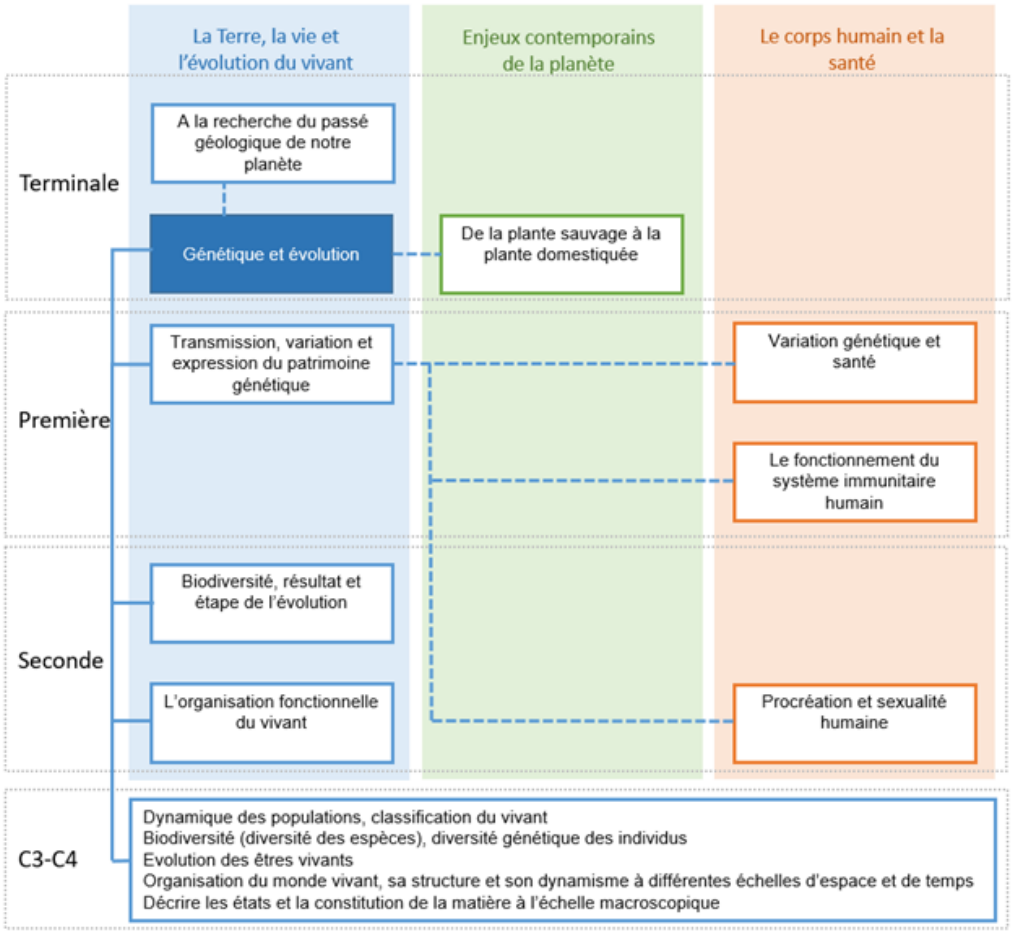
Mais des mécanismes différents sont impliqués :

- les brassages expliqueront en partie la transmission de maladies génétiques ;
- les transferts horizontaux expliqueront en partie l'apparition de résistances chez des souches de bactéries ;
- etc.

Ces exemples sont pris indépendamment les uns des autres mais dans une vision globale et complexe de l'évolution, on comprend qu'un génotype actuel est le résultat d'une histoire évolutive pouvant intégrer tous ces mécanismes (et d'autres encore).

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Remarque : un autre lien existe avec la thématique 3 du programme d'enseignement scientifique de tronc commun en classe de terminale « Une histoire du vivant ».

Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les programmes précédents

Les élèves abordent l'évolution du vivant depuis le cycle 3 au cours duquel les liens de parenté ainsi que la reproduction sexuée sont abordés. Au cycle 4 la transmission des caractères, les bases de la mitose, de la méiose, les mutations sont ensuite abordées et mises en lien avec la notion de programme génétique. Au-delà de ces approches à l'échelle de l'individu, la macro-évolution est également abordée en intégrant la sélection naturelle et l'évolution des êtres vivants au cours des temps géologiques.

En seconde ces points sont repris et approfondis. On enrichit les concepts en intégrant la dérive génétique : cela implique principalement de se situer à l'échelle populationnelle et d'avoir abordé plus en avant la structure de l'ADN avec la transmission des allèles.

En classe de première, d'un côté la nature et la fréquence des mutations ont été identifiés (en lien avec la réplication de l'ADN), ainsi que leurs effets sur la santé humaine (aspect « variabilité »). Mitose et méiose ont été abordées en tant que mécanismes liés à la « stabilité » du patrimoine génétique.

Parties du sous-theme	des acquis…
L'origine du génotype des individus	**Des acquis à consolider**[1] • Mécanismes en lien avec la méiose. • Mécanismes associés à la reproduction sexuée. • Une succession de mitoses produit un clone.
	Des acquis nouveaux à batir • La diversité génétique dans un clone résulte de l'accumulation de mutations successives dans les différentes cellules. Conservation d'une génération à l'autre des mutations. • Le brassage des génomes à chaque génération : la reproduction sexuée des eucaryotes. • Les accidents génétiques de la méiose : crossing-over inégaux et duplications de gènes à l'origine de familles multigéniques et de l'augmentation de la taille des génomes. • L'interprétation des résultats de croisements avec transmission de deux paires d'allèles.
La complexification des génomes : transferts horizontaux, endosymbioses	**Des acquis à consolider** • Le Microbiote et les symbioses. • Les organites : chloroplastes, mitochondries. • La théorie cellulaire abordée en enseignement scientifique. • Code génétique et universalité de l'ADN.
	Des acquis nouveaux à batir • Des échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés. Attention aux confusions possibles entre transferts dirigés par l'homme (transgénèse) et transferts horizontaux. • Les endosymbioses jouent un rôle important dans l'évolution des eucaryotes. Attention à bien distinguer gènes de l'hôte / gènes de l'endosymbiote. Remarques : • bien différencier transferts horizontaux et endosymbioses ; • ne pas se limiter aux mécanismes mais les envisager dans le cadre d'une histoire évolutive.

1. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Retrouvez éduscol sur

Parties du sous-theme	des acquis…
L'inéluctable évolution des génomes au sein des populations	**Des acquis à consolider** • Mutations, sélection naturelle, dérive génétique. • Dynamique des populations. • L'histoire humaine lue dans son génome.
	Des acquis nouveaux à batir • Aborder un modèle mathématique (modèle de Hardy-Weinberg) et le critiquer en lien avec des données réelles sur certaines populations. Il s'agit de montrer l'importance du modèle dans la compréhension des phénomènes biologiques en veillant à lui donner du sens (modèle mathématique / histoire évolutive) tout en se préservant de tout finalisme. • Cette partie précise ce qui est également abordé en Enseignement Scientifique et a donc un rôle intégrateur. • En se situant une nouvelle fois sur une échelle populationnelle il s'agira de réinterroger la notion d'espèce abordée au collège et enrichie en classe de seconde : une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolée génétiquement des autres populations.
D'autres mécanismes contribuent à la diversité du vivant	**Des acquis à consolider** • L'existence de comportements liés à la reproduction (seconde). • Le microbiote, endosymbioses. • L'hérédité.
	Des acquis nouveaux à batir • La diversification phénotypique repose aussi sur des associations non héréditaires (microbiote…), des comportements acquis eux-mêmes « évoluant ». Il s'agit bien ici de sortir du « tout génétique » tout en évitant certaines simplifications : • le concept de « phénotype étendu » est intéressant mais ne peut être réduit à du « non génétique » ; • les endosymbioses sont également transmises par voie héréditaire ; • une partie du microbiote peut être considérée comme acquise au cours de la vie mais pas une autre partie ; • attention à l'anthropocentrisme. Les aspects culturels peuvent être abordés chez de nombreux animaux ; • l'épigénétique ne figure pas dans les programmes.

Le sous-thème en quatre tableaux synthétiques

L'origine du génotype des individus	
Concepts fondamentaux	
Toutes les cellules d'un organisme possèdent le même génome et le même génotype. Pour autant, il peut exister une variabilité des génotypes entre les populations clonales.	On réactive les acquis de seconde et de première : ADN, gène, allèle, séquence de nucléotides, mitose, mécanisme des mutations. • Les mécanismes de la mitose, et de la réplication permettent de conserver le génome et le génotype d'une génération cellulaire à la suivante (Mobilisation des connaissances). • Les mutations ponctuelles expliquent la diversité des allèles, et sont héritées par les cellules des lignées issues de cellules mutantes.
La diversité des génomes des cellules-œuf issues d'une reproduction sexuée par le brassage des génomes à chaque génération. Les brassages inter et intra-chromosomiques au cours de la méiose, et l'aléa de la fécondation expliquent la variabilité génétique des descendants d'autant plus élevée que le nombre de gènes à l'état hétérozygote est grande chez les parents On créé du nouveau à partir de l'existant.	• Le suivi de caractères déterminés par des gènes indépendants (cas de dihybridisme), construction de la notion de brassage interchromosomique expliquant une diversité de génotypes gamétiques équiprobables. • Suivi de caractères déterminés par des gènes liés (cas de dihybridisme), construction de la notion de brassage intrachromosomique expliquant l'apparition de génotypes recombinants non équiprobables. • Etude d'arbres généalogiques ou les techniques de séquençage permettant de déterminer le génotype de chaque individu ⇒ acquisition par l'élève de principes de base simples d'analyse génétique.
Des crossing over-inégaux et des migrations anormales de chromosomes ou de chromatides engendrent des caryotypes anormaux ou modifient le niveau de ploïdie.	• Quelques conséquences évolutives des anomalies de méiose et de fécondation (duplications de gènes, aneuploïdie, polyploïdie) à l'origine de la complexification des génomes (réorganisation des génomes, familles multigéniques), et jouant un rôle essentiel dans l'évolution biologique (spéciation ; gain, altération ou perte de fonctionnalités…). • Nouvelles fonctionnalités possibles.

La complexification des génomes : transferts horizontaux, endosymbioses	
Concepts fondamentaux	
Des échanges de matériel génétique, hors de la reproduction sexuée, constituent des transferts horizontaux. Les conséquences : complexification des génomes, l'évolution des populations et des écosystèmes au regard des interactions existantes entre organismes.	• Des transferts génétiques sont autorisés au regard de l'universalité de l'ADN dans le monde vivant (Nature, Structure, codage). • Des gènes acquis par transferts horizontaux peuvent être hérités verticalement par mitose dans le cadre d'une reproduction asexuée ou par méiose et fécondation si ces mutations affectent le génome de cellules germinales. On peut profiter de ce moment pour contribuer à l'éducation à la santé par l'étude des propagations des résistances aux antibiotiques et impacts en termes de santé humaine).
Les endosymbioses sont des associations entre organismes (bactéries ou eucaryotes). Le transfert de certains gènes de l'organisme intégrés dans le génome de l'hôte contribue à sa complexification. Les endosymbioses transmises entre générations.	• Possibilité d'appui sur la théorie de l'endosymbiose primaire et secondaire expliquant l'existence de chloroplastes et de mitochondries dans la cellule eucaryote impliqués dans la diversité des métabolismes cellulaires.

L'inéluctable évolution des génomes au sein des populations	
Concepts fondamentaux	
Comprendre la biologie évolutive c'est comprendre ce qui se passe à l'échelle des populations (modèle mathématique Hardy-Weinberg).	• Le modèle numérique de Hardy Weinberg permet de prévoir et simuler les fréquences des génotypes sur plusieurs générations. • Les limites de ce modèle théorique par l'identification des écarts entre les résultats théoriques et mesurés à partir d'études statistiques des fréquences des génotypes sur des populations réelles. Détermination de quelques facteurs influençant l'évolution des génotypes pouvant conduire à la transformation d'une espèce (sélection naturelle, isolement de populations, effet fondateur, homogamie, migrations…).
Seule l'échelle populationnelle permet de montrer et de comprendre les mécanismes micro-évolutifs (une évolution en action « ici et maintenant »). Les conséquences évolutives de quelques mécanismes génétiques (transformations des espèces, disparition d'espèces, émergence de nouvelles espèces).	• La dérive génétique et le crible de la sélection naturelle influent sur l'évolution des fréquences alléliques au sein des populations et donc des génotypes. • Des populations isolées ont des évolutions génétiques indépendantes et par conséquent sont hétérogènes. • Le concept biologique de l'espèce dans sa dimension spatio-temporelle ; c'est à dire considérée comme un ensemble de populations hétérogènes qui co-évoluent dans le temps et entre lesquelles des échanges génétiques sont permis. • L'isolat de populations pouvant conduire ou non à spéciation si le flux de gènes est rendu impossible. • Toute barrière reproductive naturelle ou anthropique (génétiques, géographique, comportementale, fragmentation des habitats, pollution sonore, lumineuse) pouvant rompre les flux de gènes peut être responsable de la disparition de populations, d'espèces ou au contraire d'évènements de spéciation. **Des exemples possibles dans les populations humaines** (Les difficultés liées à la vie en haute altitude et l'origine génétique de l'adaptation des Tibétains. La tolérance au lactose après sevrage, son évolution au cours du temps…). **Des exemples dans des populations d'autres métazoaires** (l'Homme en voulant « conserver » les busards cendrés constitue une pression de sélection sur le comportement de ces derniers…). **Des exemples dans des populations d'angiospermes** (Evolution rapide des modalités de dispersion du fruit de la crépide en milieu urbain…). **Des exemples dans les populations de « micro-organismes »** (Comment chez la drosophile la bactérie Spiroplasma protégeant son hôte des effets stérilisants d'un nématode augmente en fréquence dans les populations américaines…).

D'autres mécanismes contribuent à la diversité du vivant	
Concepts fondamentaux	
Étudier un exemple de diversification du vivant sans modification du génome. Extraire, organiser et exploiter des informations pour : • appréhender la notion de phénotype étendu ; • appréhender la notion d'évolution culturelle et ses liens avec celle d'évolution biologique.	• La réalisation du phénotype résulte de l'expression de deux génotypes associés de façon durable ou transitoire. Le phénotype développé ne correspond pas à la somme des deux phénotypes associés mais permet le développement de potentialités qui n'existent pas chez les deux partenaires isolément. • La théorie de l'holobionte peut être appréhendée en discutant le concept de symbiose. La non-symbiose n'existe pas. Au concept d'organisme isolé, il faut préférer le concept d'holobionte, c'est-à-dire l'organisme adjoint de son microbiote, et l'ensemble des interactions écologiques et fonctionnelles. • Le concept de phénotype étendu. L'expression d'un génome se traduit par un ensemble de comportements exploitant les ressources inertes de l'environnement (constructions, parures) qui influent sur l'évolution de l'espèce elle-même mais aussi sur la diversité des populations d'espèces à l'échelle d'un écosystème. • Les comportements sont transmis entre individus d'une même génération ou de façon verticale (par l'éducation notamment). Ils peuvent être sélectionnés au regard de la valeur sélective qu'ils confèrent aux populations, contre sélectionnés ou perdus. • On peut s'appuyer sur l'exemple de l'espèce humaine dont la valeur sélective est considérablement augmentée par les apprentissages et le développement de technologies.

Ressources

Le point sur la loi de Hardy-Weinberg

Proposée en 1908 indépendamment par le mathématicien anglais Hardy et le médecin allemand Weinberg, la loi de Hardy-Weinberg se définit ainsi : dans une population de grand effectif, où les unions se font au hasard (= panmixie), où il n'existe ni migration, ni sélection naturelle, et où le taux de mutations est constant, les proportions des différents génotypes restent constantes d'une génération à l'autre. Autrement dit : la diversité génétique de la population considérée se maintient et doit tendre versus équilibre stable de la distribution génotypique.

Soient p la fréquence de l'allèle A et q la fréquence de l'allèle p : p+q =1
(q est en général utilisé pour désigner l'allèle récessif).

	Gamètes mâles A (p) a (q)	
Gamètes A (p)	AA (p2)	Aa (pq)
Gamètes a (q)	Aa (pq)	aa (q2)

- Fréquence du génotype AA : **p2**
- Fréquence du génotype aa : **q2**
- Fréquence du génotype Aa : **2pq**

- f (A) = p^2 + pq = p (p+ q)= p
- f (a) = q^2 + pq = q (p + q)= q

Dans une population telle que définie précédemment, évolution de la fréquence des gènes d'une génération à l'autre :

Unions possibles	AA	Aa	aa
AA	p4	2p3q	p2q2
Aa	2p3q	4p2q2	2pq3
aa	p2q2	2pq3	q4

On obtient une fréquence des mariages

aa x Aa = 2pq3 + 2pq3 = 4 pq3

		Génotypes des enfants		
Type d'union	Fréquence	AA	Aa	aa
AA X AA	p4	p4		
AA X Aa	4p3q	2p3q	2p3q	
Aa X Aa	4p2q2	p2q2	2p2q2	p2q2
aa X aa	q4			q4
aa X Aa	4pq3		2pq3	2pq3
AA x aa	2p2q2		2p2q2	

Total :
AA : p2 (p4 + 2p3q + p2q2) = p2 (p2 + 2pq + q2) = p2
Aa : 2pq (p4 + 2p3q + p2q2) = 2pq(p2 + 2pq + q2) = 2pq
Aa : q2 (p4 + 2p3q + p2q2) = q2 (p2 + 2pq + q2) = q2

La proportion des génotypes reste donc inchangée à la deuxième génération, c'est l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Les conséquences du modèle :

- les relations de dominance entre allèles n'ont pas d'effet sur l'évolution des fréquences alléliques ;
- les fréquences alléliques restent stables au cours du temps; les fréquences génotypiques aussi ;
- la ségrégation aléatoire des chromosomes préserve la variabilité génétique des populations ;
- « l'évolution » étant définie par un changement des fréquences alléliques, une population diploïde idéale n'évolue pas ;
- seules les violations des propriétés de la population idéale permettent le processus évolutif.

L'intérêt réside donc dans la comparaison entre des fréquences issues du modèle et celles mesurées réellement. Tout écart significatif permettra d'interroger les hypothèses de départ non connues (mutations ? sélection ? migrations ? choix des partenaires ?...)

Le point sur les transferts horizontaux

Quelques définitions

Source : « L'évolution par fusion » – Marc-André SELOSSE – Pour la science n°400, février 2011

Fusion

Terme proposé pour réunir l'ensemble des mécanismes évolutifs qui regroupent dans une même lignée des gènes issus de lignées différentes : endosymbioses, hybridation et transferts de gènes.

Endosymbiose

Symbiose où l'un des partenaires vit dans les cellules de l'autre. Si elle peut être transmise à la génération suivante, c'est une fusion évolutive.

Hybridation

Résultat de la fécondation entre gamètes issus de lignées différentes. L'hybride formé peut être viable ou non. S'il est fertile il peut constituer une espèce nouvelle.

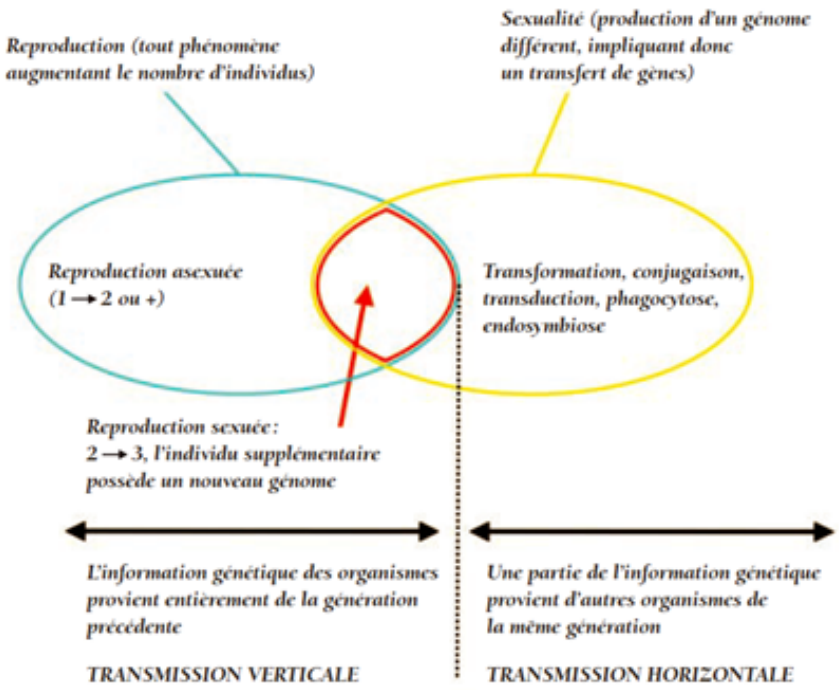
Allopolyploïdie

Hybridation où l'organisme contient non pas un jeu de chromosomes de chaque parent, mais deux. Les organismes qui en sont issus constituent une espèce nouvelle, car ils ne se croisent plus avec l'espèce des parents.

Transfert de gène

Passage d'un gène d'un organisme à un autre, d'espèce différente. Mécanisme fréquent chez les bactéries, il existe aussi chez les organismes plus complexes.

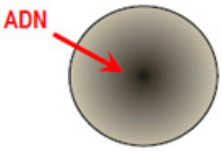
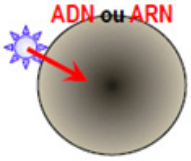
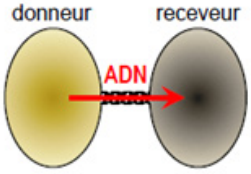
Les modes de transmissions en lien avec la reproduction et la sexualité

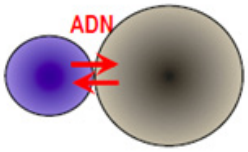


Source : Marc-André SELOSSE, Des organismes chimériques : le sexe « lent » des eucaryotes

Les principaux types de mécanismes de transfert de gènes

Source : Bernard DUJON « Quand l'acquis devient héritable : la leçon des génomes »

Transformation 	Des transferts issus du voisinage ou via des virus (a, b) : Une cellule vivante procaryote ou eucaryote (cercle grisé avec la zone centrale foncée symbolisant le génome) peut recevoir de l'ADN de son environnement immédiat (sous forme simple brin ou double brin) par un processus de transformation ou recevoir un acide nucléique (ADN ou ARN) par l'intermédiaire d'un virus. Dans ce dernier cas, l'acide nucléique peut porter les gènes du virus seul ou ceux d'autres organismes transportés par les virus à partir des cycles infectieux précédents.
Transfection ou transduction 	
Conjugaison 	(c) : Certaines cellules bactériennes (ovale jaune) développent des mécanismes de conjugaison au cours duquel elles injectent leur ADN à une autre cellule bactérienne (ovale grisé), ou parfois à une cellule eucaryote, par l'intermédiaire de tubes protéiques spécialisés (pointillés) produits par des plasmides conjugatifs qu'elles portent.

Endosymbiose 	(d) : Dans les cellules eucaryotes, la présence d'endosymbiontes permanents issus de phagocytoses ou d'infections facilite le transfert d'acides nucléiques entre l'endosymbionte (cercle bleu dégradé) et l'hôte. Les endosymbiontes peuvent être eucaryotes ou procaryotes et avoir des degrés très divers de spécificité d'hôte.
Parasitisme, commensalisme ou symbiose 	(e) : Les associations stables entre organismes distincts facilitent également le transfert d'ADN entre les cellules en contact prolongé.

Extrait de l'article

Il est maintenant clair que le transfert horizontal de gènes joue un rôle majeur dans le monde des procaryotes (bactéries et archées) où ils accélèrent considérablement l'adaptation aux conditions changeantes auxquels ces organismes doivent faire continuellement face. Le développement des résistances aux antibiotiques illustre ce phénomène. Les résistances sélectionnées dans une espèce peuvent se propager rapidement à d'autres espèces. L'intensité des échanges génétiques horizontaux entre procaryotes est telle que, dans nombre d'espèces bactériennes, la part des gènes commune à tous les membres de l'espèce (*core-genome*) est plus petite que la part des gènes variable entre les génomes individuels suite à ces échanges horizontaux (Hall *et al*., 2017).

Plusieurs mécanismes sont responsables du transfert horizontal des gènes chez les procaryotes. D'abord, la *transformation* des bactéries par l'ADN présent dans le milieu. La généralité de ce mécanisme - à l'origine de la découverte du rôle de l'ADN comme déjà mentionné – a été reconnue à partir des années 1950. Les détails moléculaires de la pénétration de l'ADN extérieur dans les cellules peuvent varier selon les espèces mais, dans tous les cas, l'ADN finit par s'intégrer dans le génome de la cellule hôte, devenant ainsi transmissible à sa descendance. Vers la même époque, étaient également découverts les phénomènes de *conjugaison* bactérienne et de *lysogénie*. La conjugaison bactérienne est le fait que certaines bactéries peuvent transmettre des fragments de leurs chromosomes à d'autres bactéries plus ou moins apparentées par simple contact. On sait maintenant que l'ADN transite d'une bactérie à l'autre par l'intermédiaire de tubes protéiques spécialisés dont les éléments sont codés par des plasmides portés par les bactéries capables de conjugaison. La lysogénie bactérienne est due au fait que certains virus bactériens – les *bactériophages tempérés* - au lieu de se multiplier immédiatement après infection intègrent leur génome dans celui de la cellule hôte où il devient silencieux. Les bactéries deviennent alors lysogènes, c'est-à-dire capables de perpétuer le génome viral silencieux pendant un nombre illimité de générations sans jamais produire de bactériophages sauf si des conditions particulières réactivent accidentellement le génome viral. Dans ce cas, une lointaine bactérie descendante produira de nombreux bactériophages infectieux qui lysent la cellule alors que celle-ci n'a jamais été infectée elle-même.

Un autre exemple intéressant d'hérédité de séquences acquises d'acides nucléiques chez les bactéries est fourni par le système d'immunité bactérienne CRISPR-Cas maintenant très utilisé comme outil moléculaire d'édition des génomes (Makarova *et al.*,2015). Dans ce cas, une région particulière du chromosome bactérien faite de répétitions de séquences palindromiques courtes sert de réservoir pour intégrer des courts fragments d'ADN de virus ou de plasmides étrangers ayant pénétré la cellule qui ont été découpés par l'endonucléase Cas. Ces fragments sont ainsi perpétués à l'identique de génération en génération par les bactéries, leur offrant les traces des rencontres accidentelles ancestrales sous forme de petits ARN car le réservoir est transcrit et l'ARN produit est redécoupé au niveau des répétitions palindromiques. Si un ADN étranger qui pénètre une cellule bactérienne de cette lignée porte une séquence correspondant à l'un de ces petits ARN, il sera immédiatement clivé par l'endonucléase Cas et détruit.

On notera que, dans tous les phénomènes précédents où des caractères acquis deviennent héritables, les mécanismes moléculaires qui permettent le phénomène sont préexistants aux évènements d'acquisitions qui, eux, sont basés sur des rencontres aléatoires (ADN environnemental, bactériophage, partenaire de conjugaison). C'est une caractéristique générale des transferts génétiques horizontaux.

(…) on trouve des traces de transferts horizontaux dans pratiquement tous les génomes d'organismes unicellulaires étudiés qui appartiennent aux différentes branches phylogénétiques connues d'eucaryotes (Keeling and Palmer, 2008). Plusieurs dizaines ou même centaines de gènes par génome proviennent de ce mécanisme chez les *Chromalveolata* (ciliés, algues brunes, diatomées, *Plasmodium,* …), les *Amoebozoa* (amibes, …) ou les *Excavata (trypanosomes, leishmanies, trichomonas, …)*. Ils sont particulièrement nombreux chez les parasites ou chez les ciliés de la panse des ruminants qui cohabitent avec une abondante flore microbienne dans un environnement riche en ADN et en carbohydrates (Ricard *et al.*,2006).

Il n'est pas toujours facile de déterminer la fonction des gènes acquis par transfert horizontal dans leur nouvel hôte. Certains (la majorité ?) n'ont peut-être aucune action et ne sont présents dans la lignée évolutive que de manière temporaire. Mais dans d'autres cas, les gènes acquis confèrent un important avantage aux organismes receveurs par l'émergence immédiate de nouvelles fonctions. On trouve, par exemple, dans les génomes de certaines levures comme les *Saccharomyces* capables de fermenter en anaérobie stricte un gène d'origine bactérienne, *URA1*, pour la dihydro-orotate déshydrogénase (DHODase) nécessaire à la biosynthèse d'uracile. Or, il existait un autre gène, *URA9*, pour le même enzyme chez les levures ancestrales (perdu chez les *Saccharomyces*). Mais alors que l'enzyme eucaryote ancestral nécessite l'oxygène atmosphérique pour fonctionner (excluant la vie en anaérobiose), son remplaçant bactérien s'en dispense. Ici, l'acquisition du gène bactérien, probablement à partir d'un *Lactococcus*, a permis à certaines levures de vivre en anaérobiose (et donc de produire vins et bières !), alors que leurs ancêtres en étaient incapables. On peut également mentionner l'acquisition par certaines levures, comme *Candida parapsilosis*, de gènes bactériens pour une proline racémase qui leur confèrent la capacité de métaboliser l'isoschizomère D de l'acide-aminé et donc d'avoir un avantage nutritionnel (le phénomène d'acquisition de gènes de racémases est fréquent chez les eucaryotes unicellulaires). On pourrait multiplier les exemples, mais évidemment chez les organismes unicellulaires, l'acquisition d'une nouvelle fonction est directement transmissible à leur descendance. Qu'en est-il des eucaryotes pluricellulaires avec lignées germinales différenciées ?

Des exemples remarquables montrent que le phénomène d'acquisition génétique horizontal existe aussi dans les lignées d'eucaryotes pluricellulaires comme les plantes, les animaux, les algues ou les champignons. La présence de gènes bactériens dans les chromosomes de plantes n'est pas limitée aux OGM artificiels, la nature produit l'équivalent. La patate douce, par exemple, *Ipomoeabatatas*une *Convolvulaceae*dont les racines se gonflent de réserves, porte dans son génome un ensemble de gènes provenant d'un plasmide de la bactérie *Agrobacterium*(Kyndt*et al*., 2015). Cette bactérie est normalement symbiotique des *Fabaceae*(pois, haricots, soja, …) avec lesquels elle forme des nodules fixateurs d'azote atmosphérique. Toutes les variétés d'*I. batatas*naturelles ou cultivées étudiées (près de 300 au total) portent des gènes d'*Agrobacterium*mais l'omniprésence de certains gènes particuliers dans les variétés cultivées suggère que ce sont ces gènes acquis naturellement qui ont conféré à la plante un caractère utile à sa domestication.

Les transferts de gènes aux eucaryotes ne se limitent pas à l'intégration de gènes bactériens. Des gènes de champignons se retrouvent fonctionnels chez des animaux. Par exemple, alors que la plupart des pucerons, comme *Acyrthosiphonpisum, Myzuspersicae ouChaitophoruspopulifolli*(des insectes hémiptères), sont verts on en trouve certains dont le corps est rouge-orange car ils produisent des caroténoïdes colorés (tolurène, lycopène, carotènes) à partir des caroténoïdes végétaux incolores qu'ils consomment. L'examen de leurs génomes montre la présence de gènes provenant de champignons dont les produits (phytoènedésaturase, lycopènecyclase / phytoène synthase) sont responsables de la synthèse de ces dérivés colorés (Inter.nalAphidGenomics Consortium, 2010). Ces gènes d'origine fongique se comportent comme de parfaits facteurs mendéliens chez ces pucerons. Le même phénomène se retrouve chez divers autres arthropodes comme les moucherons *Mayetioladestructor*ou *Asteromyiacarbonifera*(des insectes diptères) ou le tétranyche, *Tetranychusurticae,* un arachnide. Ils ont peut-être hérité des mêmes évènements de transferts horizontaux que les pucerons à partir de leurs lointains ancêtres communs ou, plus vraisemblablement, témoignent d'évènements récurrents de capture des mêmes types de gènes fongiques (Cobbs*et al.*,2013).

Réciproquement, on peut trouver des espèces fongiques qui ont acquis du matériel génétique provenant d'autres lignées eucaryotes. Par exemple, il existe des lignées de champignons filamenteux et de levures capables d'assimiler les nitrates comme le font les plantes, ce qui est inhabituel dans le monde fongique. Ils portent dans leur génome des groupements de gènes typiquement végétaux produisant perméase, nitrate réductase et nitrite réductase nécessaires à ce métabolisme. On pourrait multiplier les exemples parmi les grands groupes d'eucaryotes pluricellulaires (Soucy*et al.*,2015). Les éperlans ont reçu le gène de la protéine antigel AFP de type II (qui leur permet de fréquenter les eaux glacées) à partir d'autres poissons comme les harengs (Graham *et al.*,2012). Des insectes survivent au cyanure produit par les plantes dont ils se nourrissent grâce à un gène de détoxification acquis de bactéries (Wybouw*et al.*,2014), *etc.*

Le point sur les endosymbioses

Source : Marc-André SELOSSE « Des organismes chimériques : le sexe « lent » des eucaryotes »

Extrait de l'article

À la différence de ce qui se passe chez les eucaryotes, ce sexe bactérien n'est ni régulier (il n'est pas cyclique) ni lié à la reproduction. Bien au contraire ! Dans les cas de transformation et de transduction, l'ADN ou les particules virales sont libérés à la mort d'une cellule : il y a donc finalement moins de cellules qu'au début… Une différence majeure en résulte : chez les eucaryotes, l'information génétique des organismes provient entièrement de la génération précédente (les parents). On parle alors de transmission verticale, car les gènes « descendent » littéralement dans l'arbre généalogique. À l'inverse, chez les bactéries, l'information génétique peut provenir d'organismes voisins de la même génération (qui meurent parfois) : elle se transmet alors de façon horizontale, entre organismes de même échelon dans l'arbre généalogique. Selon une idée reçue, seules les bactéries connaîtraient des transferts horizontaux, alors que la transmission de l'information génétique serait strictement verticale chez les eucaryotes. S'il est vrai que les enfants ressemblent souvent à leurs parents, cela occulte le fait que, à l'égal des bactéries, les eucaryotes renouvellent parfois leur génome en recrutant des gènes dans le milieu… Nous verrons qu'ils connaissent eux aussi des transformations et des transductions, et surtout une acquisition de gènes par un processus qui leur est propre : l'endosymbiose.

(…) Diversité des endosymbioses chez les eucaryotes

On objectera qu'il s'agit là d'événements rares ; ce n'est pas si vrai, et, de plus, ils n'en sont pas moins fondateurs de lignées très diversifiées. Considérons l'origine de l'ensemble des eucaryotes eux-mêmes : on sait maintenant que leur ancêtre commun possédait des mitochondries, même si elles ont été modifiées dans certaines lignées. Les eucaryotes sont donc par essence des organismes chimériques, alliant au moins deux lignées cellulaires. Certes, celles-ci se révèlent très interdépendantes : par exemple, quand je dis « je », sont-ce ces bactéries (mes mitochondries) ou un eucaryote qui parlent ? Il existe d'autres endosymbioses. L'ensemble des eucaryotes photosynthétiques possède, en plus, des plastes qui sont apparus lors de plusieurs endosymbiosesplus tardives. Chez les algues rouges, comme le nori (*Porphyra*), fréquemment servi dans les restaurants japonais, les algues vertes, comme la laitue de mer, et les végétaux terrestres, le plaste provient d'une cyanobactérie présente dans les cellules de leur ancêtre commun (c'est le cas du maïs). D'autres groupes d'eucaryotes photosynthétiques ont acquis un plaste d'une façon secondaire, en incorporant une algue verte ou rouge unicellulaire ! C'est le cas d'algues unicellulaires comme l'euglène ou l'amibe (lire l'encadré p. 52), et d'algues pluricellulaires comme les fucus et les laminaires de nos côtes. Il existe au moins trois origines secondaires des plastes, toutes fondatrices de lignées diversifiées. D'ailleurs, des algues endosymbiotiques bien reconnaissables existent dans les cellules de divers autres eucaryotes : c'est en particulier le cas chez les cnidaires comme les coraux ou les anémones de mer ou chez des unicellulaires comme certaines paramécies. Parfois, ces algues intracellulaires sont réacquises à chaque génération, par phagocytose, à partir du milieu. D'autres espèces les transmettent à la génération suivante par le biais des ovules : c'est sans doute ce qui a conduit, au cours de l'évolution, à l'apparition de plastes.

Enfin, des bactéries transmissibles sont présentes chez de très nombreux eucaryotes. Chez des unicellulaires, en particulier, ces bactéries se transmettent simplement lors de

la division cellulaire et contribuent à des fonctions variées. Des bactéries productrices de méthane rendent possible le métabolisme énergétique d'eucaryotes fermentaires ; des bactéries responsables d'un effet toxique sur les compétiteurs existent chez divers unicellulaires (comme certaines paramécies). Chez les insectes, des bactéries transmises à la descendance par voie maternelle sont fréquentes dans certains cas, jusqu'à six espèces bactériennes intracellulaires différentes coexistent ! Ces bactéries sont étroitement liées à la spécialisation écologique et jouent un rôle de détoxification et/ou de complément alimentaire. Par exemple, les insectes suceurs de sève subissent une carence en acides aminés essentiels, compensée par des bactéries endosymbiotiques : les *Buchnera*de certains pucerons aphidioïdessynthétisent par exemple du tryptophane ; certaines cigales possèdent des *Baumannia*synthétisant de l'histidine.

Une endosymbiose héréditaire est donc la façon dont les cellules eucaryotes s'adjoignent les gènes d'autres lignées, bactériennes ou eucaryotes. Le partenaire internalisé doit pouvoir se reproduire à l'intérieur de son hôte. L'hatena nous fournit un exemple inverse : cet unicellulaire est capable de phagocyter et de conserver une algue unicellulaire (*Nephroselmis*), mais celle-ci ne se divise pas dans l'hôte. Chaque division cellulaire de l'hatena produit donc une cellule dotée de l'algue et une autre incolore, qui devra phagocyter une nouvelle algue dans le milieu.

Cependant, dès lors que le génome acquis se reproduit et se transmet à la génération suivante, ses gènes se retrouvent durablement alliés à ceux de la cellule hôte – un cas d'hérédité de caractère acquis. À première vue, cela constitue plus une juxtaposition qu'un réel nouveau génome, car les gènes acquis restent situés hors du noyau.

On pourra objecter que ces génomes demeurent indissociablement liés… mais, surtout, le transfert de gènes n'a fait que commencer à cette étape, comme va nous le montrer ce qui suit !

En résumé, la capacité des eucaryotes à effectuer la phagocytose leur confère une acquisition de gènes originale, par le processus de l'endosymbiose. Les mitochondries et les plastes sont d'anciennes bactéries (voire, dans le second cas, d'anciennes algues eucaryotes) acquises dans le milieu puis transmises de génération en génération. Les eucaryotes réalisent donc de cette façon de nouveaux génomes par association cellulaire : la phagocytose fait d'eux de véritables « prédateurs de génomes ».

Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques

Évolution de l'espèce humaine

- « Le séquençage des génomes » du site PlanetVie
- Biologie moléculaire et cellulaire « Émergence de la paléogénétique » du site acces.ens-lyon.fr

Croisement de regards sur l'Evolution.

- Conférences de Pierrick Labbé sur le site de l'académie de Montpellier

Évolution of life

(attention aux erreurs de traduction potentielle)

- Découvrir les principes de l'évolution grâce aux films, animations et simulations – du site evolution-of-life.com

Le vivant et son évolution

- Dossier et articles sur le site PlanetVie

Évolution du niveau de ploïdie et anomalie de mitose ou de méiose

- Évolution de la taille des génomes : expansion et/ou contraction ? médecine/sciences 2000 ; 1 6 : 8 1 4-5

Le concept de phénotype

- Le concept de phénotype étendu défini comme « l›expression de ses gènes au-delà de son corps » – Théorie de Richard Dawkins sur le site leblob.fr

Symbiose et transfert horizontaux de gènes (activité pédagogique)

- Génétique moléculaire et évolution « Symbiose et transfert horizontaux de gènes » du site acces.ens-lyon.fr

Expliquer l'évolution des génomes

- Quelques vidéo du site du collège de France pour expliquer l'évolution des génomes

Bibliographie

- **Le guide critique de l'évolution** – Guillaume LECOINTRE – Édition Belin – Parution du 2 janvier 2019.
- **Génétique moléculaire et évolutive** – Myriam HARRY – 2ème édition du 4 septembre 2008 – Édition Maloine. Un livre à destination des étudiants et professeurs de SVT.
- **Biologie évolutive** - THOMAS, LEFEVRE, RAYMOND, De Boekedition.
- **Génétique**, 8ème édition, W. KLUG, M. CUMMINGS, C.SPENCER - Édition Pearson, 2006.
- **Classification phylogénétique du vivant** Tome 1 et 2 – Hervé LE GUYADER et Guillaume LECOINTRE – Édition Belin.
- **L'évolution** – Hervé LE GUYADER – Bibliothèque Pour la Science – Juin 1998.
- **Faits et mécanismes de l'évolution biologique** – Louis ALLANO et Alex CLAMENS - Édition Ellipses.
- **Pour la science Hors-série** N°105 novembre décembre 2019 : qui sommes-nous ? – les nouvelles réponses de la génétique.
- **L'évolution par fusion** – Marc-André SELOSSE – Pour la science n°400, février 2011. Un article très complet et illustré sur les fusions évolutives (endosymbioses, hybridations et transferts de gènes).

Retrouvez éduscol sur

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

Liberté
Égalité
Fraternité

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPECIALITE

À LA RECHERCHE DU PASSÉ GÉOLOGIQUE DE NOTRE PLANÈTE

Thème

Thème 1 - La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de préciser le sens qu'il est possible d'attribuer à ce sous-thème du programme. Elle permet d'accompagner les professeurs dans la cohérence verticale, les notions à construire, les précisions et limites. Elle propose des stratégies de problématisation ainsi que quelques ressources bibliographiques et numériques.

Mots-clés

Chronologie, principes de datations relative et absolue, chronomètres, associations de fossiles stratigraphique, échelle stratigraphique, cycle orogénique, ophiolites, paléogéographie, carte géologique de la France au millionième, reconstitution d'une histoire géologique, démarche historique, problématisation historique.

Références au programme

À la recherche du passé géologique de notre planète :
- le temps et les roches ;
- les traces du passé mouvementé de la Terre.

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs du sous-thème 2

Vision synoptique du sous-thème 4

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 4

Notions à consolider, notions à construire, précisions et limites 4

Cohérence dans le parcours de formation de l'élève 4

En classe de terminale 5

Les sous-thèmes en deux tableaux synthétiques 7

Quelques pistes pour problématiser 7

Quelques ressources 10

Sitographie 10

Bibliographie 10

Enjeux éducatifs du sous-thème

Pour cette dernière année du cycle terminal, ce sous-thème de l'enseignement de spécialité vient **enrichir le parcours de l'élève sur les apports des géosciences** dans la compréhension du monde qui nous entoure.

Aux cycles 3 et 4, les élèves sont amenés à caractériser et expliquer quelques phénomènes géologiques. Ils les relient à des enjeux en matière de risques naturels dans une perspective d'éducation à la responsabilité citoyenne.

En classe de seconde, le traitement du sous-thème « géosciences et dynamique des paysages » est l'occasion de s'intéresser aux ressources limitées de la planète, de relier connaissance scientifique et gestion des risques. Ainsi se conjuguent éducation à la responsabilité citoyenne et éducation au développement durable dans cette première année au lycée.

L'enseignement de spécialité en classe de première a pour objectif de parvenir à la construction d'un modèle global explicatif de la dynamique interne de la planète. Cette construction s'appuie notamment sur les acquis des cycles 3 et 4 et sur une argumentation scientifique. En cela, le modèle interprétatif de la dynamique lithosphérique s'appuie sur une interaction continue avec les données scientifiques et leur traitement (données de terrain, sismiques, thermiques, mesures et calculs de densité ; de température…). S'appropriant différentes échelles spatiales et temporelles, les élèves caractérisent ainsi des phénomènes géologiques au sein de ce modèle explicatif dans une démarche essentiellement fonctionnaliste.

Retrouvez éduscol sur

En classe de terminale, outre les enjeux liés aux concepts scientifiques, l'enjeu éducatif du sous-thème « À la recherche du passé géologique de notre planète » réside dans l'enrichissement **épistémologique lié à notre discipline**.

Il s'agit pour les élèves de s'intéresser aux objets géologiques actuels qui témoignent d'une histoire que l'on peut reconstituer par une démarche scientifique.

Ils s'appuient ainsi sur le modèle explicatif de la dynamique lithosphérique établi en classe de première, sur des méthodes chronologiques et des outils du géologue dont la carte géologique au millionième.

Ils appréhendent ainsi la **construction de la démarche historique, singularisant des évènements géologiques dont l'articulation dans le temps permet d'expliciter les archives que constituent aujourd'hui les objets géologiques à l'observation**.

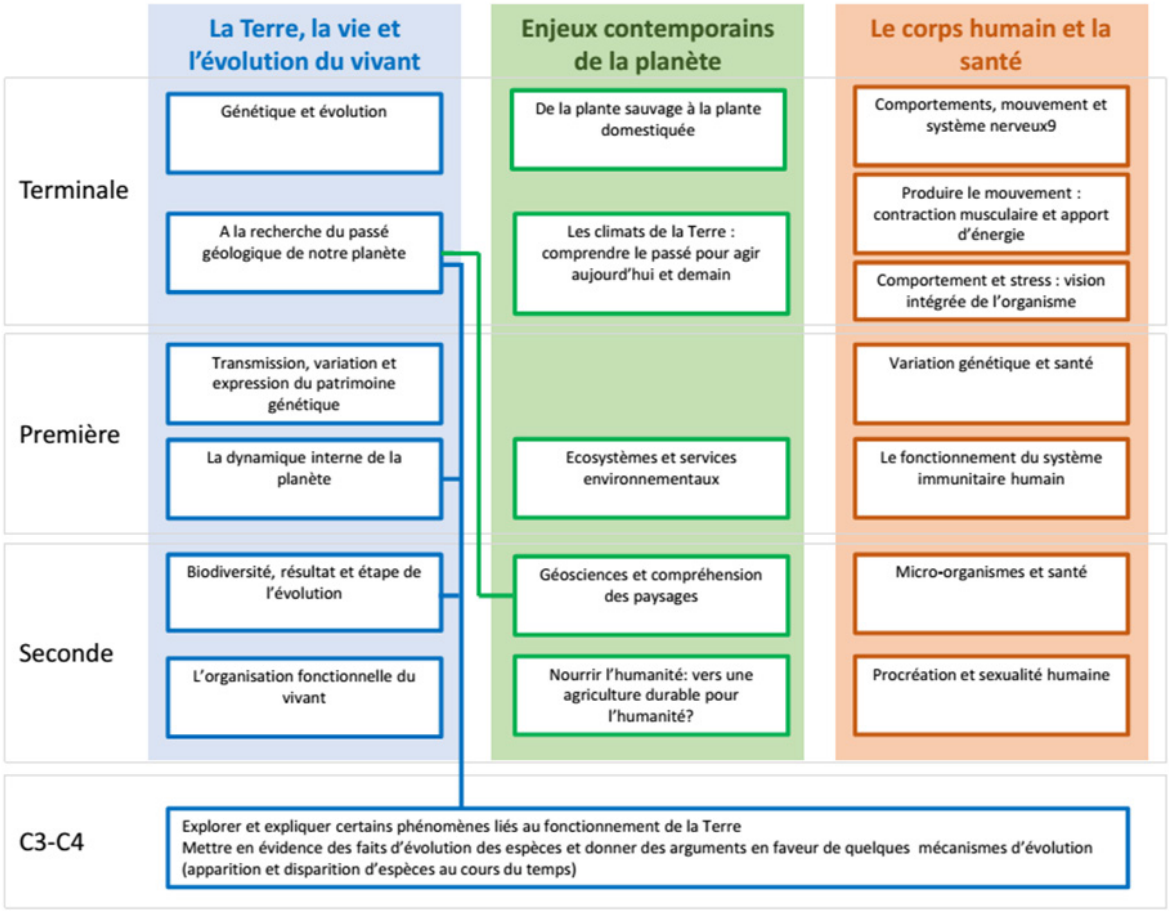
En fin de cycle terminal, les élèves ont ainsi exploré la compréhension du monde qui nous entoure en associant dans leur parcours les démarches fonctionnalistes et historiques propres aux sciences de la vie et de la Terre.

Les élèves poursuivent l'appropriation de dimensions spatiales et temporelles variées.

Ils prennent conscience des enjeux d'inventaire et de protection des archives géologiques observables aujourd'hui sur la planète. À ce titre, il est très certainement pertinent d'engager une argumentation sur les dispositifs de protection des sites géologiques (réserves nationales, arrêtés de protection des géotopes…).

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Cliquer ici pour obtenir l'image en taille réelle.

Notions à consolider, notions à construire, précisions et limites

Cohérence dans le parcours de formation de l'élève

En fin de cycle 4, les élèves trouvent une explication de quelques phénomènes géologiques étudiés (volcanisme, séismes) par l'étude du contexte géodynamique global de la planète. La tectonique des plaques est reliée à la dissipation de l'énergie thermique d'origine interne. Une approche par la gestion des risques géologiques est privilégiée.

Les cycles 3 et 4 ont été l'occasion d'identifier des fossiles au sein de la classification des êtres vivants et d'établir les concepts de biodiversité du passé et de crises biologiques. Une première approche temporelle d'évènements géologiques passés a été ainsi engagée dans le parcours de formation des élèves.

En classe de seconde, les concepts liés à la géodynamique externe sont explorés sous le prisme de la gestion des ressources sédimentaires détritiques et des risques d'érosion.

En classe de première, les élèves remobilisent dans l'enseignement de spécialité leurs acquis du collège pour préciser et quantifier les mouvements des plaques lithosphériques et découvrir les principaux phénomènes de la dynamique terrestre. Les concepts du modèle explicatif de la dynamique lithosphérique et les marqueurs associés (collision, extension) sont ainsi établis. En enseignement scientifique, les élèves explorent la notion de radioactivité et l'histoire de l'âge de la Terre.

Rappels

Attendus programmatiques de l'enseignement de spécialité en classe de première

- La structure du globe terrestre
  - Des contrastes entre les continents et les océans
  - L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre
- La dynamique de la lithosphère
  - La caractérisation de la mobilité horizontale
  - La dynamique des zones de divergence
  - La dynamique des zones de convergence
  - Les zones de subduction
  - Les zones de convergence

En classe de terminale

Parties du sous-thème	Des notions…
Le temps et les roches	**Des notions à consolider**[1]**,** • Fossiles, biodiversité passée, crises biologiques. • Sédimentation et milieux de sédimentation.
	Des notions nouvelles à bâtir Sur les méthodes de chronologie relative • Les relations géométriques (superposition, recoupement, inclusion) de structures géologiques et la chronologie d'évènements. • La notion de fossiles stratigraphiques et l'intérêt des associations de fossiles stratigraphiques (intervalles de temps). • La corrélation temporelle entre des formations géologiques géographiquement éloignées par l'identification d'associations de fossiles stratigraphique. • La caractérisation des coupures dans les temps géologiques. • L'élaboration de l'échelle stratigraphique : superposition des intervalles de temps et coupures dans les temps géologiques. Sur les méthodes de chronologie absolue • Les bases physiques de la désintégration radioactive et principes de la datation absolue des roches magmatiques ou métamorphiques (ou leurs minéraux) par l'usage des chronomètres reposant sur la décroissance radioactive. • Fermeture du système considéré (roche, minéral) dans la datation absolue.

1. À consolider comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme de terminale : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarche scientifiques pour être redémontrés.

Parties du sous-thème	Des notions…
Les traces du passé mouvementé de la Terre	**Des notions à consolider** • Modèle explicatif de la dynamique lithosphérique. • Les différents marqueurs de collision et d'extension. • Nature de la croûte océanique par l'observation au niveau de failles transformantes. • Radioactivité, L'histoire de l'âge de la Terre (enseignement scientifique en première).
	Des notions nouvelles à bâtir • Les continents associent des domaines d'âges différents et portent des reliquats d'anciennes chaînes de montagnes issues de cycles orogéniques successifs. • L'origine des ophiolites et leur signification géodynamique (de la fermeture de domaines océaniques à la collision continentale et à l'exhumation). • Les marges passives constituent les archives d'une fragmentation initiale (rifts continentaux) préalable à l'accrétion océanique. • On caractérise différentes **périodes paléographiques** : périodes de réunion de blocs continentaux, périodes de fragmentations continentales conduisant à la mise en place de nouvelles dorsales.

Parties du sous-thème	Propositions d'outils à mobiliser…
Le temps et les roches	• Photographies, vidéos, modèles 3D, blocs diagrammes pour appréhender les relations géométriques dans les structures géologiques. • **La carte géologique de la France au millionième** pour extraire les données chronologiques (relations géométriques entre les formations géologiques, échelle stratigraphique, datation absolue). La carte peut être exploitée en **version papier ou numérique (SIG)**.
Les traces du passé mouvementé de la Terre	• Cartes géologiques (mondiale et celle de la France au millionième) pour identifier des domaines continentaux d'âge différents et les reliquats d'anciennes chaînes de montagne, les complexes ophiolitiques en France et en Europe (Cap Lizard par exemple). • Données tectoniques, sédimentaires et sismiques liées à des marges passives et au rifting continental. • Exploitation de globes virtuels et usage des SIG.

Retrouvez éduscol sur

T_SVT_Theme1_PasseGeologiquePlanete 315

Précisions et limites	
Le temps et les roches	• Connaissance de l'échelle stratigraphique non attendue. • En chronologie absolue, on se limite à l'étude de roches magmatiques pour lesquelles la fermeture du système est causée au-delà d'un certain seuil d'abaissement de la température. • Étude des principes physiques de désintégration radioactive et développements mathématiques permettant de déterminer l'âge des roches non exigibles.
Les traces du passé mouvementé de la Terre	• Étude de la diversité des ophiolites hors programme. • Exhumation des ophiolites mentionnée comme un fait mais pas expliquée. Aucune notion d'isostasie n'est exigible.

Les sous-thèmes en deux tableaux synthétiques

Le temps et les roches

Objectifs
- Appréhender les méthodes du géologue afin de construire une chronologie pour des objets géologiques étudiés.
- Réaliser un usage nouveau de la carte géologique de la France au millionième articulée sur des données chronologiques.
- Construire les bases méthodologiques afin de dater des événements et retracer ainsi une histoire géologique.

Les traces du passé mouvementé de la Terre

Objectifs
- Mobiliser des concepts (acquis de la classe de première sur la dynamique lithosphérique, les marqueurs des phénomènes géologiques), des méthodes (chronologiques) et des outils du géologue (cartes, SIG, données) pour reconstituer l'histoire géologique de la Terre.
- Identifier et retracer des histoires orogéniques et de fragmentations continentales afin d'appréhender différentes périodes paléogéographiques.

Quelques pistes pour problématiser

Des approches variées sont naturellement envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique et la construction d'une enquête critique afin de reconstituer le passé de notre planète sont particulièrement intéressantes.

Dans cette démarche historique, permettre aux élèves de problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques.

Un point de départ possible peut être, dans la perspective de retracer le passé mouvementé de la planète, de questionner en premier lieu les méthodes du géologue permettant de dater des événements à partir d'objets géologiques observables actuellement sur Terre.

Retrouvez éduscol sur

Ces méthodes chronologiques et les principes de l'échelle stratigraphique étant posés, il est alors possible de placer les élèves dans une dynamique de recherche des archives géologiques qui font sens au regard du modèle explicatif de la dynamique lithosphérique.

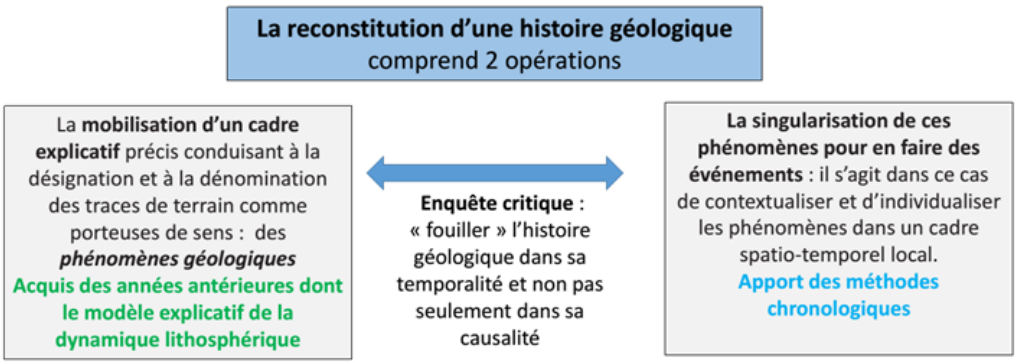
En mobilisant les méthodes chronologiques, ces archives constituent alors les événements géologiques datés et repérés dans l'échelle stratigraphique. La recherche par les élèves de leur articulation dans le fil linéaire du temps est en mesure de retracer une histoire ou des histoires successives caractérisant ainsi des périodes paléogéographiques de la planète.

Une carte heuristique peut constituer un bon outil pour envisager différentes façons d'aborder un thème, les points à traiter pour répondre à une problématique, les activités à mettre en œuvre de façon complémentaire, … Elle peut être conçue par le professeur seul dans le cadre de la préparation de ses séances, mais aussi avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

Dans le traitement de ce sous-thème, un point de vigilance fondamental réside dans le **choix de la démarche d'investigation, et par conséquent de la problématisation à proposer afin de reconstituer une histoire passée** : alors qu'en classe de première, une démarche fonctionnaliste a présidé dans la construction d'un modèle explicatif de la dynamique lithosphérique, il s'agit ici d'articuler cette démarche fonctionnaliste à une démarche historique.

La **reconstitution d'une histoire géologique** comprend en effet deux opérations dont l'articulation permet de faire émerger une enquête critique :

- la mobilisation d'un **cadre explicatif** permettant d'identifier des **phénomènes** à partir des traces du terrain (acquis de la classe de première) ;
- la **singularisation** de ces phénomènes pour **en faire des événements** : il s'agit dans ce cas de contextualiser et d'individualiser les phénomènes dans un cadre spatio-temporel local ou global (apport des méthodes chronologiques).

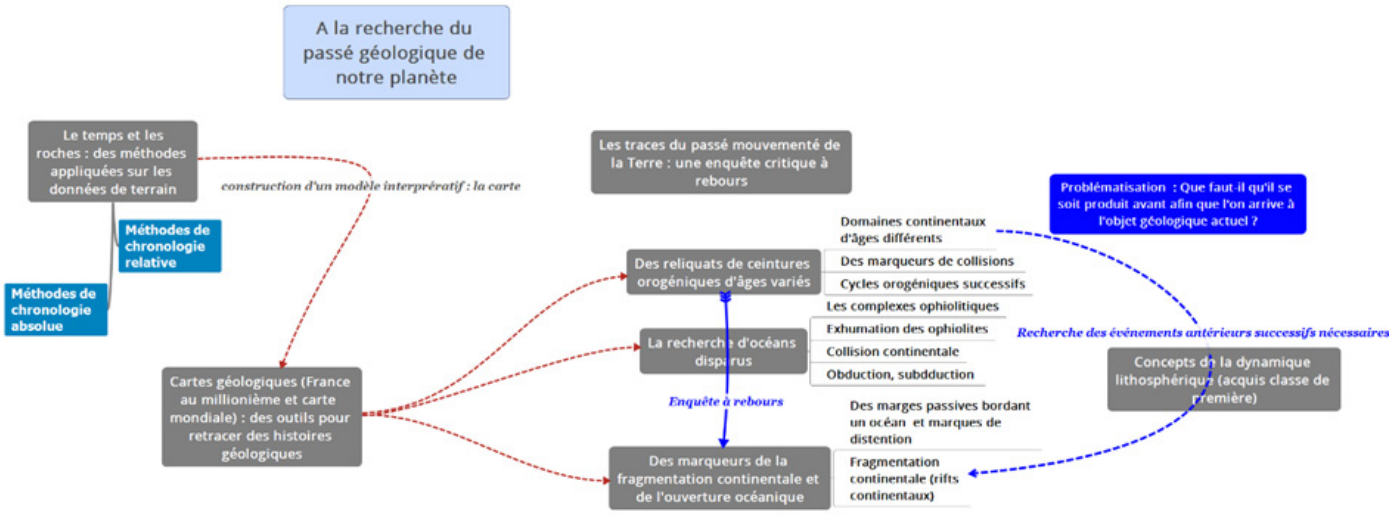


Une stratégie possible de problématisation historique consiste à procéder à **une enquête « à rebours »**, à la recherche des raisons/conditions de possibilité des événements qui ont conduit l'histoire géologique à laisser les objets actuels (traces/archive).

À partir des objets actuels, il s'agit de se poser la question suivante : « Que faut-il qu'il se soit produit auparavant afin que l'on arrive à l'objet géologique actuel ? ».

Les élèves sont ainsi amenés dans une enquête à la recherche d'événements inscrits dans un contexte et un fil spatiotemporel.

La carte mentale ci-dessous propose un tel cheminement possible.



Cliquer ici pour obtenir l'image en taille réelle.

Pour des développements plus complets sur la démarche et la problématisation historiques, on pourra se reporter utilement à la ressource intitulée « Reconstituer une histoire géologique : démarches et problématisation ».

Quelques ressources

Sitographie

- Structure et évolution pré-permienne du Massif Central français 1/3 – Évolution des idées et architecture en nappes, Michel Faure, sur le site Planet-Terre.
- Structure et évolution pré-permienne du Massif Central français 2/3 – Évènements tectono-métamorphiques successifs, Michel Faure, sur le site Planet-Terre.
- Structure et évolution pré-permienne du Massif Central français 3/3 – Magmatisme et scénario géodynamique, Michel Faure, sur le site Planet-Terre.
- Une webconférence de Damien Jaujard sur le nouveau programme de spécialité SVT en terminale sur le site disciplinaire SVT de l'académie de Versailles. Reconstituer le passé mouvementé de la Terre à partir de l'étude de la carte géologique de France au millionième.
- Chronologie relative : galerie d'images commentées, Pierre Thomas sur le site de Planet-Terre.
- Étudier le rift avorté alsacien avec GeORG sur le site Access-Eduterre.
- Banque d'objets et modèles 3D pour l'enseignement des géosciences (roches affleurements, plis, failles, cartographie, paléogéographie en globes virtuels 3D) sur le site disciplinaire SVT de l'académie de Limoges.

Bibliographie

- Éléments de géologie, Renard Maurice, Lagabrielle Yves, Martin Erwan, De Rafélis, Saint-Sauveur Marc, 6ème éd., Dunod, 2018.
- Mémo visuel de géologie, l'essentiel en fiches, Lagabrielle Yves, Maury René, Renard Maurice, 2ème éd., Dunod, 2017.
- Géologie - Géodynamique - Pétrologie - Étude de terrain – Damien Jaujard, Maloine, 2015.
- Géologie et géodynamique de la France. 2ème édition Dunod. Dercourt, 1998.
- Les roches ; mémoire du temps. EDP Sciences. Mascle, 2008.
- Ce que disent les pierres. Belin. Mattauer, 2004.
- Le visage changeant de la Terre : l'éclatement de la Pangée et la mobilité des continents au cours des derniers 250 millions d'années, Vrielynck et Bouysse, 2003.
- Initiation aux cartes et coupes géologiques, Dunod, Sorel et Vergely, 2010.
- Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la terre chez les chercheurs et chez les lycéens, Denise Orange Ravachol, ASTER N° 40, 2005.
- Étude comparative des contenus et des apprentissages en biologie et en géologie : entre phénomènes et événements, Denise Orange-Ravachol, Christian Orange, REDLCT « Recherches en didactiques » N°13, 2012.
- Les analepses dans les récits de médiation géologique « sur le terrain » : un outil pour mobiliser la démarche historique ? François Dessart, Éric Triquet, RDST, N° 19-2019, pages 117-140.

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPECIALITE

LES CLIMATS DE LA TERRE : COMPRENDRE LE PASSÉ POUR AGIR AUJOURD'HUI ET DEMAIN

Thème

Thème 2 - Enjeux contemporains de la planète

Note d'intention

Cette fiche a pour objectif de donner une vision globale de la place de ce thème dans les enseignements depuis le collège jusqu'au lycée et de préciser, pour la classe de terminale et l'enseignement de spécialité, les enjeux éducatifs et les notions clés à construire. Il a également pour objectif de montrer la complémentarité avec les compétences travaillées en enseignement scientifique. L'objectif est ici d'étayer l'articulation des enseignements afin d'éviter les redondances et d'exploiter les acquis de l'enseignement scientifique (classe de première et terminale) pour les mobiliser et construire des situations d'apprentissages qui répondent à une progressivité des apprentissages et une approche spiralaire cohérente.

Mots-clés

Climat, système climatique, réchauffement climatique, variations climatiques, bilan radiatif terrestre, forçage, biais d'interprétation, stratégies d'adaptation, stratégies d'atténuation.

Références au programme

Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

- Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées.
- Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions.

Retrouvez éduscol sur

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs 3

Vision synoptique du sous-thème 3

Représentation des principaux objectifs disciplinaires en relation avec « les climats de la Terre » du cycle 3 à la terminale 3

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 4

Notions à consolider, notions à construire, limites 5

Articuler l'enseignement de la climatologie en spécialité de terminale avec le programme d'enseignement scientifique 7

Approche des capacités travaillées en enseignement scientifique et en spécialité SVT de terminale en quatre regroupements 7

Identifier les paramètres qui déterminent le fonctionnement général du climat 8

Identifier et expliquer les causes des variations climatiques passées 9

Identifier et expliquer les causes des variations climatiques actuelles 10

Identifier et expliquer les conséquences et les enjeux du changement climatique actuel 11

Vue d'ensemble de la complémentarité entre les enseignements 12

Retrouvez éduscol sur

Enjeux éducatifs

L'enjeu climatique est l'un des principaux défis qui se posent à l'humanité du XXIe siècle. Au-delà de l'objectif de compréhension scientifique des phénomènes climatiques, l'étude des conséquences du réchauffement climatique et des possibilités d'actions contribuent au développement de **l'esprit critique** face à un domaine où controverses scientifiques et désinformation se confondent. Cette partie du programme contribue ainsi à la formation du citoyen qui se doit d'analyser les conséquences de ses choix et des politiques qui le représentent afin d'exercer, de façon la plus éclairée possible, sa **responsabilité individuelle** au sein de cet enjeu collectif.

Ces enjeux sont abordés au collège ainsi que **l'éducation au risque**, pour les populations en cycle 3 et plus globalement l'être humain à travers ses biens, son environnement au cycle 4. Les bénéfices et les risques des actions humaines sont étudiés au travers de quelques exemples, à différentes échelles.

Si, en enseignement scientifique de première, l'élève étudie davantage les phénomènes physiques liés au bilan radiatif terrestre, en enseignement scientifique de terminale il démontre la responsabilité humaine dans l'évolution actuelle du climat global terrestre et se questionne sur les apports de la science et des technologies dans les choix raisonnés des individus (**responsabilité individuelle**) et des sociétés (**responsabilité collective**) vis-à-vis du réchauffement climatique.

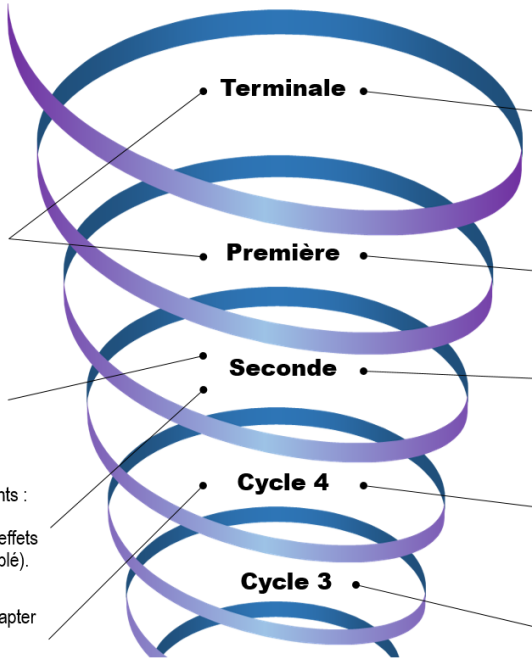
Ces éléments sont remobilisés et, pour certains, approfondis dans le programme de spécialité de terminale, par exemple les mesures d'adaptation, la complémentarité entre démarche individuelle et démarche collective, et entre politiques nationales et internationales. Une approche critique des données et de leurs mises en relation (corrélation/causalité, échelles de temps…) permet aux élèves de prendre conscience des biais cognitifs qui doivent être surmontés (cf. ressources dédiées).

Comme il ne s'agit pas de développer le catalogue des conséquences du réchauffement climatique sur la biodiversité et l'humanité ou celui des moyens d'atténuation et d'adaptation mais bien d'approfondir l'ensemble à travers un problème donné, un cas concret, la mise en œuvre d'une **démarche de projet** peut être une piste pédagogique à envisager.

Vision synoptique du sous-thème

Représentation des principaux objectifs disciplinaires en relation avec « les climats de la Terre » du cycle 3 à la terminale

Ce thème, pluridisciplinaire par son contenu, mobilise des notions qui peuvent avoir été construites dans toutes les disciplines. Le schéma ci-dessous présente la contribution des différentes disciplines depuis le cycle 3 jusqu'à la terminale. La connaissance du projet d'établissement, le cas échéant de projets disciplinaires, ainsi que celle des choix programmatiques d'autres professeurs de l'équipe pédagogique doit faciliter la mise en synergie des connaissances et compétences des élèves (exemple : le réchauffement climatique peut avoir été abordé dans le cadre de l'axe « Innovations scientifiques et responsabilités » du programme de langues vivantes de première et terminale).



SPC : Bilans d'énergie, transferts thermiques, énergie électrique, conversions d'énergie photovoltaïque, énergies et réactions chimiques, flux et stocks…

SPC : Énergie de changement d'état, réactions chimiques ou nucléaires, énergie électrique.

HG : Sociétés et environnements : des équilibres fragiles (ex. le changement climatique et ses effets sur un espace densément peuplé).

HG : Prévenir les risques, s'adapter au changement global. Crise climatique

ES : L'atmosphère terrestre et la vie. La complexité du système climatique. Le climat du futur. Énergie, choix de développement et futur climatique.

SVT : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passés. Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions.

ES : Le rayonnement solaire. Le bilan radiatif terrestre

SVT : Effet des perturbations du climat sur les écosystèmes.

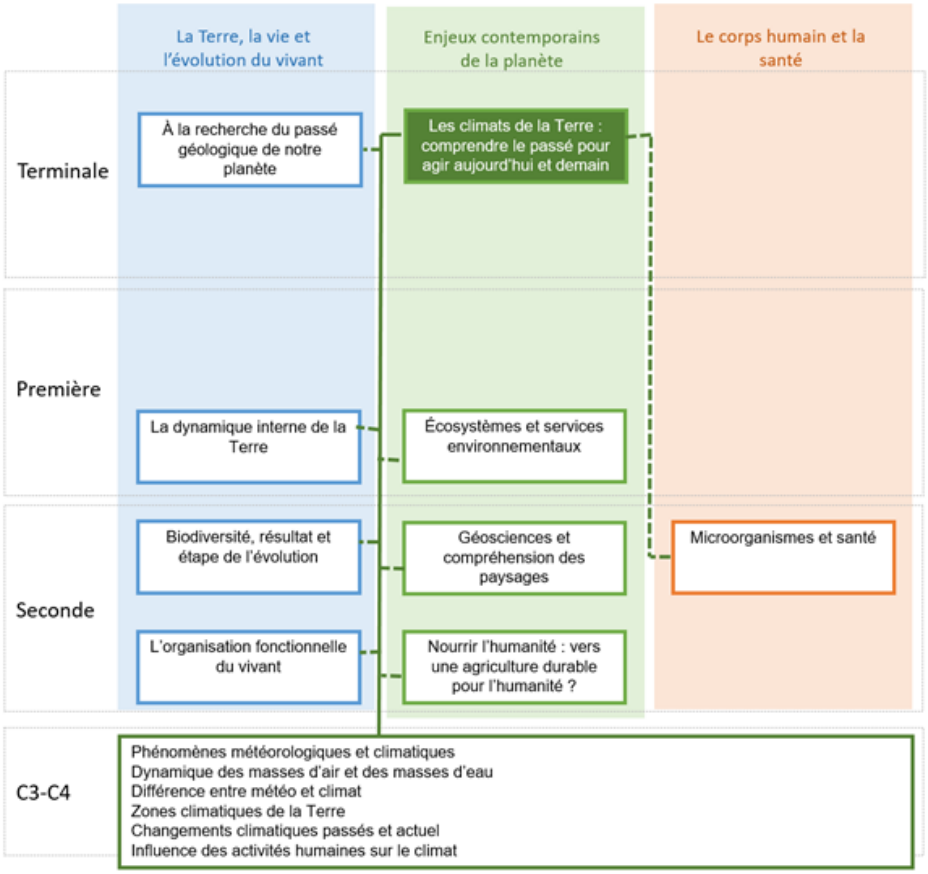
SVT : Effet des facteurs du climat et de sa perturbation sur le vivant (ex. modification d'aires de répartition de pathogènes) et sur les phénomènes géologiques (ex. érosion).

SVT : Phénomènes météorologiques et climatiques. Dynamique des masses d'air et des masses d'eau. Différence entre météo et climat. Zones climatiques de la Terre. Les changements climatiques passés et actuel. Influence des activités humaines sur le climat.

ST : Phénomènes météorologiques et climatiques, évènements extrêmes (tempêtes, cyclones, inondations et sècheresses…).

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire

L'articulation entre la partie « Science, climat et société » du programme d'enseignement scientifique et ce sous-thème est essentielle. Les liens avec les autres parties des programmes de SVT sont également précisés ci-après.



Retrouvez éduscol sur

Notions à consolider, notions à construire, limites

Au collège, les phénomènes météorologiques et climatiques sont abordés dès le cycle 3 dans le cadre de l'éducation à la responsabilité face aux risques naturels : le programme conduit les élèves à connaître des risques naturels majeurs pour les populations humaines en les reliant à l'activité, notamment externe, de la planète Terre. Les exemples qui sont traités appartiennent à la sphère d'intérêt des élèves : des phénomènes connus que l'on cherche essentiellement à décrire.
Au cycle 4, on cherche à expliquer des phénomènes en lien avec la météorologie et les climats. Les attendus de fin de cycle amènent à envisager le système climatique de manière plus globale, à expliquer certains phénomènes météorologiques et climatiques en les reliant à la dynamique des masses d'air et/ou d'eau. Les élèves identifient quelques changements climatiques du passé et leurs conséquences sur la répartition des êtres vivants. Les programmes des sciences de la vie et de la Terre et ceux d'histoire-géographie permettent de mettre en relation les activités humaines et les changements climatiques récents. Les enjeux sont élargis aux risques pour les sociétés humaines (biens, industrie, agriculture…) et l'environnement (biodiversité) et les connaissances scientifiques sont mobilisées pour envisager ou justifier des mesures de prévention, de protection, d'adaptation ou d'atténuation.

Au lycée les élèves poursuivent l'étude du système climatique en prenant plus largement en compte les facteurs physico-chimiques. Ils investissent de nouveaux outils permettant de reconstituer les variations climatiques du passé, ainsi que les changements récents et leurs conséquences.

La compréhension des variations climatiques du passé s'appuie sur une remobilisation de notions de géologie de seconde (érosion / altération, sédimentation) et de spécialité de première (mobilité horizontale des plaques lithosphériques). De même, la découverte des conséquences et des possibilités d'actions conduit à remobiliser les notions de biologie du programme de seconde comme la photosynthèse, la biodiversité, les agrosystèmes et celles de première comme les écosystème et les services environnementaux.

En enseignement scientifique, les élèves étudient, en première, le bilan radiatif terrestre et en terminale ses perturbations par les activités humaines. Il s'agit d'approfondir et d'étayer les connaissances mises en place au collège pour montrer comment les modèles numériques, élaborés à partir de mesures et de calculs faisant appel à des lois physiques, chimiques, biologiques connues :

- attestent, sans doute possible, que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine ;
- permettent d'effectuer des projections quant à l'évolution du système climatique au XXIe siècle, selon la quantité émise de GES.

L'enseignement de spécialité SVT en terminale va amener les élèves à comparer les variations climatiques contemporaines avec certains exemples de variations climatiques passées. Ils vont constater :

- qu'il existe certains invariants qui permettent d'expliquer les changements climatiques liés principalement aux lois physico-chimiques ;
- qu'au cours des temps géologiques l'origine des changements a des origines diverses.

Partie du sous-thème	Des acquis…
Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées	**Des acquis à mobiliser et consolider** (y compris enseignement scientifique) • Les réservoirs de carbone, le cycle du carbone. • Les facteurs naturels et les interactions entre océans, atmosphère, biosphère, lithosphère et cryosphère qui régissent le système climatique. • L'altération des roches et ses relations avec le climat. • La capacité du système à réagir aux perturbations de son bilan d'énergie par des rétroactions. • Les combustibles fossiles et leur formation il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. • L'existence de relations étroites entre l'histoire de la Terre et les changements de la biodiversité au cours du temps, les crises biologiques et leurs causes.
	De nouvelles notions à bâtir • L'existence, à l'échelle du Quaternaire et plus particulièrement durant les 800 000 dernières années, de variations climatiques cycliques coïncidant avec des variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre. • L'histoire de la Terre a révélé l'existence, à des échelles plus étendues, de variations liées à : - l'accélération des processus d'altération -> tendance générale à la baisse de température moyenne du globe (Cénozoïque, glaciation Carbonifère-Permien du Paléozoïques) ; - l'activité des dorsales -> tendance générale à la hausse de température (Mésozoïque) ; - la fossilisation de la matière organique -> tendance générale à la baisse de température moyenne du globe (glaciation Carbonifère-Permien du Paléozoïques).
	Des points de vigilance • La tendance à la baisse de la température liée à la fossilisation de la matière organique aura pu être abordée en enseignement scientifique. Certaines données sont issues de mesures géochimiques, d'autres liées à l'interprétation, par application du principe d'actualisme, à des observations et mesures biologiques ; c'est la cohérence des données qui permettent d'établir des faits historiques de façon robuste. • Les faits historiques, nouveaux en termes d'acquis, viennent étayer la compréhension des élèves mais doivent aussi leur permettre d'appréhender l'importance des phénomènes (par le maniement de différentes échelles de temps notamment).

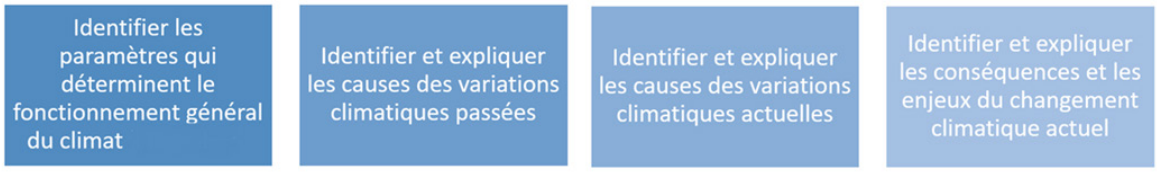
Partie du sous-thème	Des acquis…
Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions	**Des acquis à mobiliser et consolider** (y compris enseignement scientifique) • La robustesse de la modélisation du système climatique. • Les conséquences du réchauffement climatique actuel sur la météorologie, la biosphère et l'humanité, aléas et vulnérabilité des enjeux. • Enjeux sanitaires, environnementaux… • La mise en œuvre de stratégies d'adaptation.
	De nouvelles notions à bâtir • La mise en œuvre de stratégies d'atténuation (le cas échéant).
	Des points de vigilance • Il s'agit bien de permettre aux élèves d'approfondir leur compréhension de la complexité du système climatique et des conséquences environnementales du réchauffement climatique actuel mais aussi d'aborder des conséquences sociales et économiques. • Ne pas développer la connaissance des moyens d'adaptation et/ou d'atténuation pour eux-mêmes. • La mise en œuvre d'une démarche de projet et/ou des études de cas concrets, choisis pour permettre d'aborder différentes échelles d'espace (locale, nationale et internationale) sont souhaitables.

Articuler l'enseignement de la climatologie en spécialité de terminale avec le programme d'enseignement scientifique

La complémentarité forte pour ce thème entre le programme d'enseignement scientifique et celui de SVT doit conduire à une programmation concertée de cette partie de ces deux enseignements. Afin de favoriser ce travail, une approche d'intégration et de regroupement par capacités est proposée dans la suite de cette ressource.

Approche des capacités travaillées en enseignement scientifique et en spécialité SVT de terminale en quatre regroupements

Afin de faciliter une mise en œuvre du programme qui optimise la complémentarité entre les programmes d'enseignement scientifique et de sciences de la vie et de la Terre, nous proposons de regrouper les capacités, attitudes et savoir-faire travaillés à travers ces programmes dans quatre grands domaines de compétences.



Les fiches présentées pour chaque thème regroupent les capacités du programme abordées en enseignement scientifique en classe de 1ère (en rouge), en enseignement scientifique en classe de terminale (en vert) et en terminale spécialité SVT (en violet). Le choix a été fait, pour simplifier la lecture, de ne pas faire apparaitre ici les connaissances attendues.

Identifier les paramètres qui déterminent le fonctionnement général du climat

Enseignement scientifique de première

Thème 2 – Le soleil notre source d'énergie

2-1 Le rayonnement solaire

- Déterminer la masse solaire transformée chaque seconde en énergie à partir de la donnée de la puissance rayonnée par le Soleil
- À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir à une température donnée, déterminer la longueur d'onde d'émission maximale.
- Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'une étoile à partir de la longueur d'onde d'émission maximale.
- Sur un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface est maximale ou minimale.

2-2 Le bilan radiatif terrestre

- En s'appuyant sur un schéma, calculer la proportion de la puissance émise par le Soleil qui atteint la Terre
- L'albédo terrestre étant donné, déterminer la puissance totale reçue par le sol de la part du Soleil.
- Commenter la courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde.
- Analyser, interpréter et représenter graphiquement des données de températures. Calculer des moyennes temporelles de températures. Comparer des distributions temporelles de températures.
- Représenter sur un schéma les différents rayonnements reçus et émis par le sol. Expliquer qualitativement l'influence des différents facteurs (albédo, effet de serre) sur la température terrestre moyenne

Enseignement scientifique de terminale

Thème 1 – Sciences, climats et société

1-1 L'atmosphère terrestre et la vie

- Interpréter des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.
- Analyser un schéma représentant le cycle biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.

1-2 La complexité du système climatique

- Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques.
- Réaliser et interpréter une expérience simple, mettant en évidence la différence d'impact entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer.
- Estimer la variation du volume de l'océan associé à une variation de température donnée, en supposant cette variation limitée à une couche superficielle d'épaisseur donnée.

- Les notions de physiques permettant de comprendre les paramètres du climat sont étudiées en enseignement scientifique de première.
- En enseignement scientifique de terminale, on complète le système climatique en abordant les interactions entre certains paramètres, les rétroactions.
- Les compétences travaillées en enseignement scientifique de première et terminale sont indispensables pour aborder le programme de spécialité SVT en terminale : il est donc obligatoire de traiter le programme d'enseignement scientifique avant celui de spécialité.

Identifier et expliquer les causes des variations climatiques passées

Enseignement scientifique de terminale

Thème 1 – Sciences, climats et société

1-1 L'atmosphère terrestre et la vie

- Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.
- Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression donnée à partir de son diagramme d'état.
  Mettre en relation la production de O_2 dans l'atmosphère avec des indices géologiques (oxydes de fer rubanés, stromatolithes…).
  Ajuster les équations des réactions chimiques d'oxydation du fer par le dioxygène.

1-2 La complexité du système climatique

- Distinguer sur un document des données relevant du climat d'une part, de la météorologie d'autre part.
- Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques.
- Identifier des traces géologiques de variations climatiques passées (pollens, glaciers).

Spécialité SVT de terminale

Enjeux Climatiques contemporains

Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain
Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

- Mettre en évidence l'amplitude et la période des variations climatiques étudiées à partir d'une convergence d'indices.
- Rassembler et confronter une diversité d'indices sur le dernier maximum glaciaire et sur le réchauffement de l'Holocène (changement de la mégafaune dans les peintures rupestres, cartographie des fronts morainiques, construction et utilisation de diagrammes polliniques, terrasses, paléoniveaux marins…).
- Mettre les variations temporelles des paramètres orbitaux, définis par Milankovitch, en relation avec les variations cycliques des températures au Quaternaire.
- Utiliser les connaissances acquises sur la géodynamique interne et la tectonique des plaques pour comprendre leur rôle sur le climat et mettre en relation la nature des roches formées avec les paléoclimats du Crétacé.
- Reconstituer l'extension de la glaciation permienne à partir de la distribution des tillites.
- Reconstituer un paléoclimat local à partir d'une variété d'indices paléontologiques ou géologiques en tenant compte de la paléo-latitude (ex. : paléobiocénose des forêts carbonifères de Montceau-les-Mines par rapport à d'autres indices localisés à d'autres endroits de la planète).
- Exploiter des bases de données pour reconstituer les paléoceintures climatiques.
- Mobilier les acquis antérieurs sur le cycle du carbone biosphérique et les enrichir des connaissances sur les réservoirs géologiques (carbonates, matière organiques fossile) et leurs interactions.
- Discuter de l'existence d'indices pas toujours cohérents avec l'amplitude, la période et la temporalité des variations climatiques pour des raisons résolues (exemples de terrasses fluviatiles) ou encore à résoudre (petit âge glaciaire).

- Les variations climatiques anciennes et leurs causes ne sont pas abordées en première en enseignement scientifique.
- Le constat des variations climatiques est réalisé en enseignement scientifique et spécialité de terminale à travers la recherche d'indices.
- En enseignement scientifique de terminale, on étudie l'évolution précoce de l'atmosphère et on fait le constat d'une variabilité naturelle. L'investigation porte donc sur l'exploitation des traces qui montrent des variations climatiques mais pas sur les causes des changements climatiques.
- En spécialité de terminale on étudie les causes de variations climatiques du Paléozoïque, Mésozoïque et Cénozoïque.
- L'analyse des pollens et des traces glaciaires est envisagée en enseignement scientifique et spécialité : il faut veiller à ce que les démarches, les exemples, les outils pratiques ne soient pas les mêmes dans les deux enseignements.

Identifier et expliquer les causes des variations climatiques actuelles

Enseignement scientifique de terminale

Thème 1 – Sciences, climats et société

1-2 La complexité du système climatique

- Interpréter des documents donnant la variation d'un indicateur climatique en fonction du temps (date de vendanges, niveau de la mer, extension d'un glacier, …).
- Analyser la variation au cours du temps de certaines grandeurs telles que l'augmentation de la teneur atmosphérique en CO_2 la variation de température moyenne, des indicateurs de l'activité économique mondiale.
- Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui sous-tendent la dynamique d'un système.

1-3 Le climat du futur

- Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques.
- Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet.

Spécialité SVT de terminale

Enjeux Climatiques contemporains

Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain
Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

- Mobilier les connaissances acquises sur les conséquences des activités humaines sur l'effet de serre et sur le cycle carbone.

- Les aspects liés au changement climatique actuel ne sont pas abordés en première en enseignement de spécialité.

Les éléments ci-dessous sont nécessaires pour aborder les enjeux du changement climatique actuel en enseignement de spécialité de terminale.

- En enseignement scientifique de terminale, on fait le constat de variations d'indicateurs du climat (date des vendanges, niveau de la mer…) et de grandeurs climatiques (température…). À partir de corrélations, on identifie des relations de causalité (actions et rétro-actions) qui sous-tendent la dynamique du système climatique.
- En enseignement scientifique de terminale, on définit et on exploite les modèles climatiques.

Identifier et expliquer les conséquences et les enjeux du changement climatique actuel

Enseignement scientifique de terminale

Thème 1 – Sciences, climats et société

Énergie, choix de développement et futur climatique

- Utiliser les différentes unités d'énergie employées (Tonne Équivalent Pétrole (TEP), kWh…) et les convertir en joules- les facteurs de conversion étant fournis.
- Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiales, nationale, individuelle…).
- Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, centrale électrique, flux radiatif solaire…
- Calculer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles (l'équation de réaction et d'énergie massique dégagée étant fournies).
- À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions.
- Comparer sur l'ensemble de leur cycle de vie les impacts d'objets industriels (par exemple ; voiture à moteur électrique ou à essence).
- À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser
- Analyser l'impact de l'augmentation du CO_2, sur le développement de la végétation.
- Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux proposant différents scénarios.

Spécialité SVT de terminale

Enjeux Climatiques contemporains

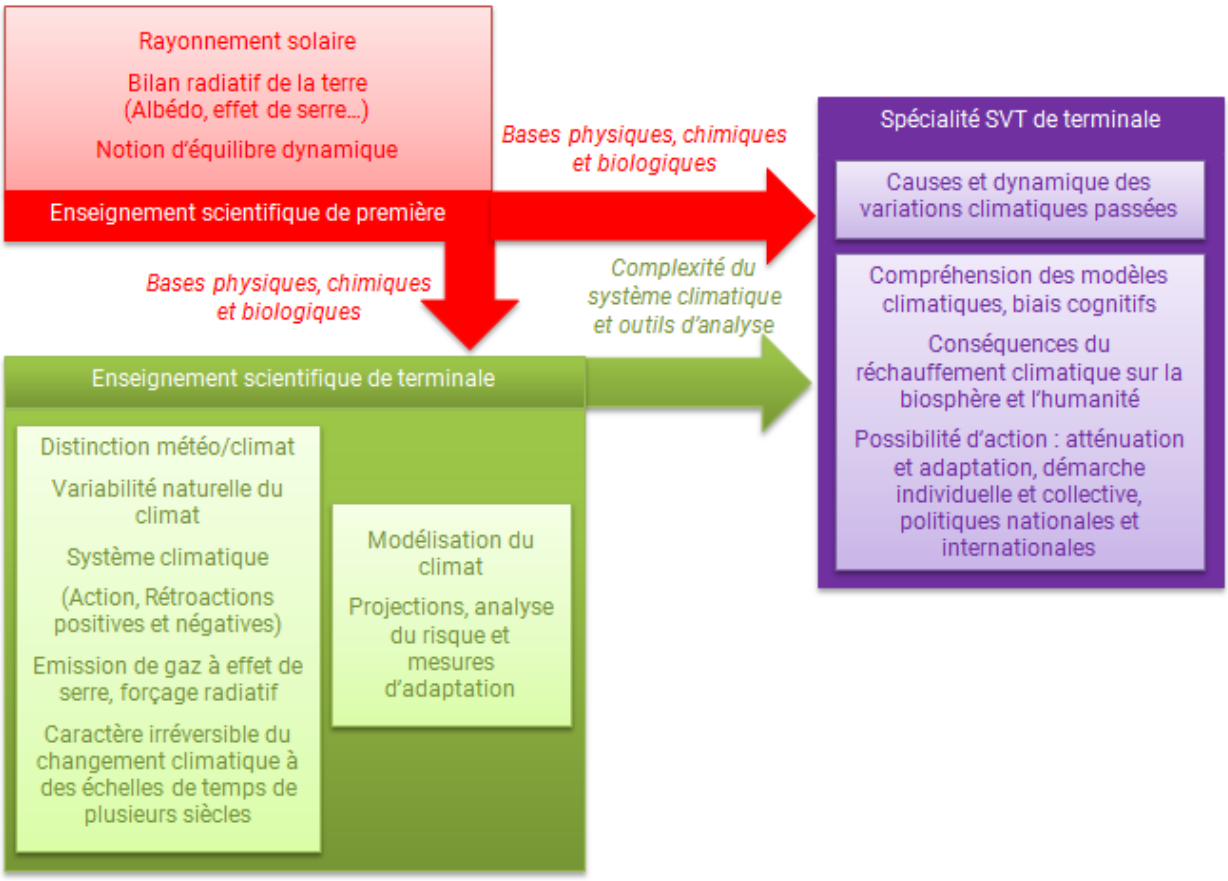
Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain
Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'action

- Réaliser et/ou analyser un suivi de long terme de la distribution spatiale des espèces face au réchauffement climatique (déplacement en altitude ou en latitude, invasions biologiques…).
- Suivre et analyser l'évolution d'un service écosystémique (dépollution de l'eau et de l'air, lutte contre l'érosion, fixation de carbone…).
- Monter comment le travail des scientifiques permet de disposer de modèles et d'arguments qui peuvent orienter les décisions publiques.
- Prendre conscience que certains biais cognitifs doivent être surmontés (confusion entre météorologie et climatologie, mauvaise appréhension des échelles de temps, méconnaissance des données scientifiques, confusion entre corrélation et causalité.
- Concevoir et mettre en œuvre une ou plusieurs démarches de projet pour comprendre et évaluer dans sa complexité une stratégie d'atténuation ou d'adaptation en réponse aux problèmes posés par le changement climatique
- Mobiliser les modèles de cycle du carbone pour quantifier les mesures individuelles et collectives d'atténuation nécessaires pour limiter le réchauffement climatique.
- Comparer les bénéfices/inconvénients de différentes stratégies de stockage du carbone (agriculture et sylviculture, puits miniers…).
- Recenser, extraire et exploiter des informations sur les politiques d'adaptation (exemple du plan national d'action sur le changement climatique – PNACC) pour identifier les mécanismes et les bénéfices de différentes méthodes (digue et naturalisation des côtes contre l'érosion, végétalisation des villes, prévention et suivi des maladies infectieuses…).

- Concernant les enjeux du changement climatique actuel, les notions abordées sont proches et doivent se compléter en enseignement scientifique et en spécialité de terminale. Toutefois en spécialité des analyses de données plus riches, des exploitations de bases de données, la possibilité d'utiliser des logiciels de modélisation, la mise en œuvre de démarche de projet en lien avec le grand oral pouvant croiser d'autres spécialités (SES, PC, HG, philosophie) doivent conduire à un approfondissement des questions traitées.
- En enseignement scientifique de terminale, on réalise des méta-analyses nécessaires en spécialité pour aborder les méthodes et outils et réaliser des études de cas.
- La notion d'adaptation est évoquée en enseignement scientifique et développée en spécialité. La notion d'atténuation n'est pas exigible en enseignement scientifique, elle l'est en spécialité (complexité et rôle de la science dans les choix politiques).

Retrouvez éduscol sur

Vue d'ensemble de la complémentarité entre les enseignements



- La compréhension du système climatique et du bilan radiatif est nécessaire pour comprendre les variations climatiques et leurs causes.
- La complémentarité des notions sur le réchauffement climatique actuels abordé en terminale nécessite de traiter cette partie en enseignement scientifique avant de l'aborder en spécialité.

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT SPECIALITE

DE LA PLANTE SAUVAGE À LA PLANTE DOMESTIQUÉE

Thème
Thème 2 - Enjeux contemporains de la planète

Note d'intention
Cette fiche a pour objectif d'éclairer le sens respectif des différentes parties du programme. Cette contribution au sens repose notamment sur les liens avec des enjeux éducatifs, la cohérence avec les programmes des autres niveaux, l'identification des fondamentaux à construire, des problématisations possibles pour contextualiser.

Mots-clés
Organisation générale d'une plante angiosperme : tige, racine, feuille, stomates, vaisseaux conducteurs ; méristème ; multiplication et élongation, phytomère ; hormones végétales, organogenèse, chloroplaste, pigments chlorophylliens, photolyse de l'eau, réduction du CO_2, sève brute et sève élaborée, diversité chimique dans la plante, totipotence ; clonage ; fleur : pistil, ovule végétal, étamine, pollen ; fruit ; graine ; pollinisation et dissémination par le vent ou les animaux ; coévolution, plante sauvage, plante domestiquée, diversité génétique, sélection artificielle, coévolution, évolution culturelle.

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs 2
Problématiser 3

Vision synoptique du sous-thème 5
Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 5
Notions à consolider, notions à construire, limites 5
Le sous-thème en quatre tableaux synthétiques 9

Ressources 12
Le point sur les interactions entre espèces. 12
Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques 13
Bibliographie 13

Retrouvez éduscol sur

Enjeux éducatifs

Ce thème s'inscrit dans la continuité de l'étude des écosystèmes commencée au collège, poursuivie en seconde et première, dans une perspective d'identification des principaux impacts de l'action humaine et pour envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources de la planète.

Un enjeu pédagogique accompagne celui de l'éducation au développement durable : si chaque partie de programme peut être l'occasion de travailler l'oral (selon les choix pédagogiques effectués par les professeurs), cette dernière partie s'y prête particulièrement bien. À partir de recherches, d'un corpus documentaire, de données de terrain, les élèves peuvent être amenés à débattre, à présenter oralement des posters scientifiques... autour de questions diverses engageant la complexité : *l'humain sélectionne les plantes mais les plantes ne sélectionnent-elles pas l'humain ? La sélection de plantes utiles n'appauvrit-elle pas la biodiversité et la possible apparition de nouveaux caractères dits « utiles » ? La production de semences commerciales standardisées est-elle un bienfait ?* Etc.

L'éducation au développement durable n'a de sens que si elle permet aux élèves de faire des choix et d'agir de manière lucide et responsable, tant individuellement que collectivement. Cela ne peut se faire sans mener des raisonnements intégrant les questions complexes.

Ces études peuvent être également l'occasion pour les élèves d'enrichir leur parcours en découvrant les métiers et les voies de formation en lien avec la gestion de l'environnement, l'agronomie.

Il est possible de découper ce thème en deux parties :

- la première partie permettant d'étudier l'organisation fonctionnelle des plantes, leurs interactions avec leur environnement et la façon dont elles se reproduisent. On se place dans une perspective évolutive ;
- la seconde partie s'intéressant aux plantes cultivées, un enjeu majeur pour l'humanité (alimentaires, pharmacologique, biomatériaux, agrocarburants) auquel doit faire face l'humanité dans un contexte de réchauffement climatique.

Il est impératif d'établir un lien entre ces deux parties : connaître l'organisation fonctionnelle et la biologie d'une plante pour développer des techniques permettant soit d'adapter la plante aux conditions de culture ; soit d'adapter les conditions de culture aux besoins de la plante mais aussi des techniques pour obtenir des variétés dont les caractéristiques favorables ont été sélectionnées.

Première partie : une plante, un organisme qui possède des caractéristiques si bien adaptées à son mode de vie fixée.

Cet enseignement doit permettre à un élève de comprendre la valeur sélective de certaines caractéristiques présentes chez des organismes au mode de vie fixée.

Si ces formes de biodiversité se sont perpétuées et se sont diversifiées au cours de l'évolution, c'est qu'elles doivent posséder une organisation fonctionnelle adaptée à la réussite de leur cycle de vie, de leur production de matière et d'énergie.

Retrouvez éduscol sur

Seconde partie : la plante domestiquée.

Cet enseignement doit permettre aux élèves de :

- prendre conscience de la dépendance de l'humanité vis-à-vis des semences végétales dans son histoire passée, actuelle et à venir ;
- comprendre les enjeux de sécurité alimentaires, économiques (dépendances d'une multitude de filières alimentaires et non alimentaires par rapport à la production de semences adaptées aux pratiques culturales dans un contexte de risque sanitaire et climatique) ;
- acquérir des connaissances permettant de comprendre l'origine des plantes cultivées (domestication, sélection inconsciente, consciente, ou dirigée des caractéristiques favorables à l'Homme) ;
- comprendre les conséquences (culturelles, génétiques) de cette domestication sur l'évolution de l'humanité ;
- comprendre les conséquences de la domestication sur les pratiques culturales (protection des cultures, compensation par des intrants) ➔ semences industrielles appauvries génétiquement, homogènes (même génotype donc peu de diversité) ;
- comprendre les techniques d'amélioration des espèces et variétés cultivées et identifier des critères de sélection (agronomiques, environnementaux, commerciaux) au regard des enjeux économiques, environnementaux, géopolitiques, sanitaires) ;
- découvrir des métiers et des voies de formation ;
- comprendre les controverses liées à la production et la commercialisation des semences (semences industrielles versus semences paysannes), identifier et discuter les avantages et les inconvénients de ces semences.

Problématiser

Les trois premiers sous-thèmes de cette partie du programme peuvent faire l'objet de questions lors de l'épreuve écrite du baccalauréat. Le dernier sous-thème « la domestication des plantes » quant à lui sera abordé après les écrits. Pour autant, l'intégralité de la thématique gagnera à être abordée sous un angle **d'éducation au développement durable qui reste le principal enjeu éducatif de cette partie** : l'idée n'est pas d'étudier « l'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs » pour elle-même (idem pour les autres sous-thèmes), mais bien d'interroger en quoi ces connaissances sont utiles dans des perspectives liées au développement durable.

Une problématisation globale autour de l'EDD de la domestication des plantes

3 parties traitées sous forme d'investigation :
- l'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs ;
- la plante productrice de matière organique ;
- reproduction de la plante, entre vie fixée et mobilité.

Les notions construites peuvent faire l'objet de questions à l'épreuve écrite.

Au « service de… »

Une partie traitée sous l'angle du débat et de la complexité :
- la domestication des plantes.

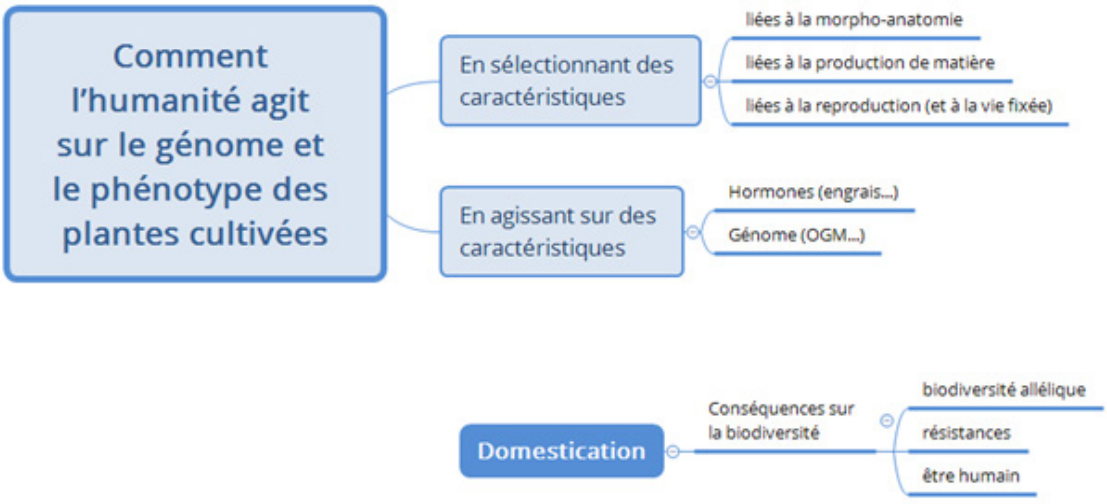
Cette partie abordée après les écrits gagnera à être abordée sous l'angle de la complexité (nourrir l'humanité et conséquences…) et sous forme de débats, mais aussi sous la forme de posters scientifiques, ces deux modalités permettant de se préparer au Grand Oral.

Retrouvez éduscol sur

L'exemple d'heuristique ci-dessous part d'une problématisation possible : « Comment l'humanité agit-elle sur le génome et le phénotype des plantes ? ».

L'idée est bien d'anticiper la partie concernant la domestication des plantes pour donner du sens aux trois autres sous-thématiques. Une démarche scientifique de recherche de preuves peut s'engager.

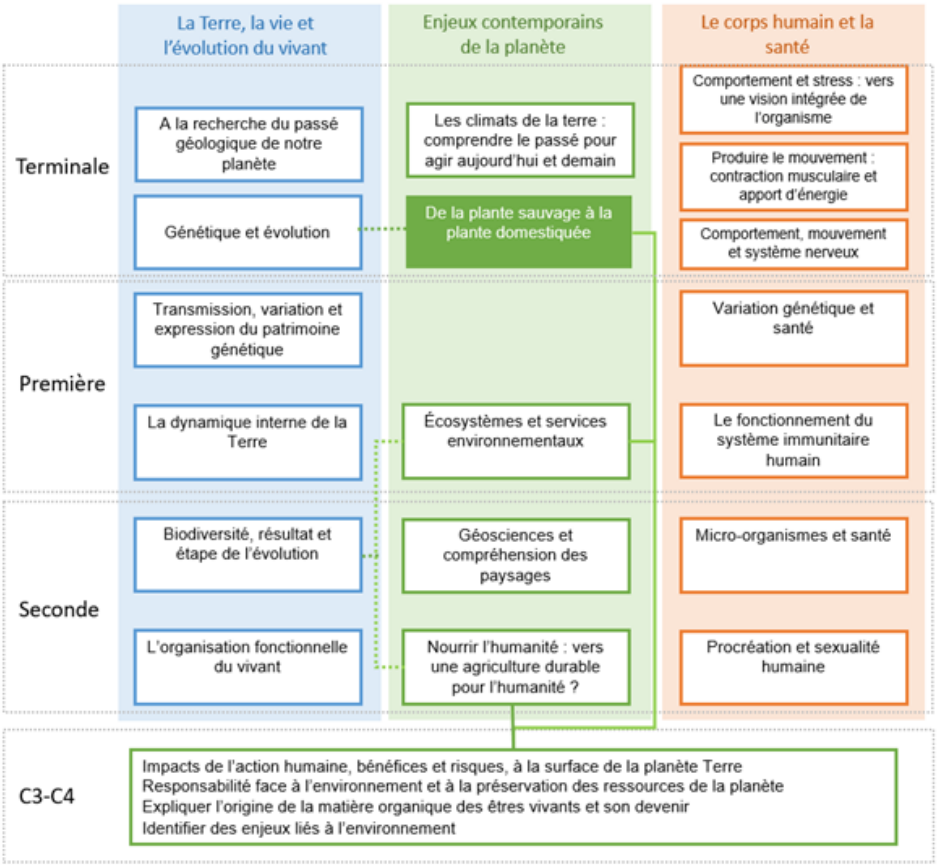
Pour répondre scientifiquement à cette large question, il est possible de s'intéresser à la sélection de caractéristiques qui nous intéressent (des caractéristiques morpho-anatomiques, d'autres liées à la production de matière, d'autres liées à la reproduction) ainsi qu'à certaines modifications menées en agissant directement sur les génomes (OGM) ou indirectement (balances hormonales…).



Cela constitue un fil rouge pour les trois premières sous-thématiques. Cette approche permettra de fournir un premier corpus d'arguments aux élèves qu'ils pourront réinvestir quand il s'agira d'aborder la sous-thématique « la domestication des plantes ».

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les programmes précédents

Au cycle 3 les élèves ont pu aborder les modifications de l'organisation et du fonctionnement d'une plante au cours du temps (saisons, plantes vivaces, plantes annuelles…). Ils ont relié les besoins des plantes vertes et leur place particulière dans les réseaux trophiques (le terme de photosynthèse a pu être mentionné).

Au cycle 4 les élèves mettent en lien les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne avec des lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage. Ils constatent la nécessité de systèmes de transport au sein de la plante. La reproduction des plantes à fleur est abordée par le biais des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants dont les plantes à fleurs.

Au Lycée dans les classes antérieures les élèves ont pu acquérir de nombreuses connaissances et compétences en lien avec les concepts abordés dans cette thématique.

- Les cellules spécialisées ont une fonction particulière dans l'organisme, en lien avec leur organisation.
- Une voie métabolique est une succession de réactions biochimiques transformant une molécule en une autre. Le métabolisme dépend de l'équipement spécialisé de chaque cellule (organites, macromolécules dont les enzymes) ; il peut être autotrophe (lié à la photosynthèse), hétérotrophe.

Retrouvez éduscol sur

- La biodiversité évolue en permanence. Cette évolution est aussi observable sur de courtes échelles de temps, tant au niveau génétique que spécifique.
- La notion de flux de matière.
- Approfondissement des services écosystémiques.
- La recherche actuelle apporte connaissances, technologies et pratiques pour le développement d'une agriculture durable permettant tout à la fois de couvrir les besoins de l'humanité et de limiter ou de compenser les impacts environnementaux.

Parties du sous-theme	des acquis…
L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs	**Des acquis à consolider**[1] • L'organisation générale d'une plante angiosperme : tige, racine, feuille.
	Des acquis nouveaux à bâtir • Capacité d'adaptation à la vie fixée à l'interface sol/atmosphère, dans des environnements variables. • Surfaces d'échange, aériennes (optimisation de l'exposition à la lumière, source d'énergie, transferts de gaz) et souterraines (absorption d'eau et d'ions du sol facilitée le plus souvent par des symbioses, notamment les mycorhizes). • Des tissus conducteurs canalisent les circulations de matière (entre lieux d'approvisionnement, de synthèse organique et de stockage). • Le développement d'une plante associe croissance et différenciation d'organes à partir de méristèmes. • Une organisation modulaire en phytomères, contrôlée par des hormones végétales et influencée par les conditions de milieu.
La plante, productrice de matière organique	**Des acquis à consolider** • Les parties aériennes de la plante sont les lieux de production de matière organique par photosynthèse. • L'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique avec libération d'O2 et réduction du CO2 aboutissant à la production de glucose. • Le chloroplaste.
	Des acquis nouveaux à bâtir • Les pigments chlorophylliens au niveau du chloroplaste. • L'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique par la photolyse de l'eau. • Production d'autres sucres solubles. • Ceux-ci circulent dans tous les organes de la plante où ils sont métabolisés, grâce à des enzymes variées, en produits assurant les différentes fonctions biologiques dont : - la croissance et le port de la plante (cellulose, lignine) ; - le stockage de la matière organique (saccharose, amidon, protéines, lipides) sous forme de réserves dans différents organes, qui permet notamment de résister aux conditions défavorables ou d'assurer la reproduction ; - les interactions mutualistes ou compétitives avec d'autres espèces (anthocyanes, tanins). **Les mécanismes moléculaires de la photosynthèse ne sont pas à étudier.**

1. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Parties du sous-theme	des acquis…
Reproduction de la plante entre vie fixée et mobilité	**Des acquis à consolider** • Les plantes ont deux modalités de reproduction : sexuée et asexuée. • La reproduction sexuée est assurée chez les Angiospermes par la fleur où se trouvent les gamètes femelles, au sein du pistil, et les grains de pollen, portés par les étamines, vecteurs des gamètes mâles. • Dans une majorité de cas, la pollinisation repose sur une collaboration entre plante et pollinisateur en relation avec la structure florale ; le vent peut aussi transporter le pollen. À l'issue de la fécondation, la fleur qui porte des ovules se transforme en un fruit qui renferme des graines. La graine contient l'embryon d'une future plante qu'elle protège (enveloppe résistante) et nourrit à la germination en utilisant des molécules de réserve préalablement accumulées. • La dispersion des graines est une étape de mobilité dans la reproduction de la plante. Elle repose sur un mutualisme animal disperseur / plante et sur des agents physiques (vent, eau) ou des dispositifs spécifiques à la plante. **Les acquis à consolider de ce sous-thème sont quasiment tous issus des programmes de cycle 3 et de cycle 4.**
	Des acquis nouveaux à bâtir • La reproduction asexuée repose sur la totipotence des cellules végétales et les capacités de croissance indéfinie des plantes, à partir de presque n'importe quelle partie du végétal (tiges, racines, feuilles). • Chez certaines espèces, la fécondation des gamètes femelles par les gamètes mâles de la même fleur est possible, voire obligatoire. Dans les autres cas, elle est rendue impossible par divers mécanismes d'incompatibilité. La fécondation croisée implique une mobilité des grains de pollen d'une plante à une autre. • Coévolution.

Parties du sous-theme	des acquis…
La domestication des plantes	**Des acquis à consolider** • Les pratiques culturales (par exemple pour la production de graines) constituent un enjeu majeur pour nourrir l'humanité. • Une espèce cultivée présente souvent de nombreuses variétés (forme de biodiversité). Cette diversité résulte de mutations dans des gènes particuliers. • Diversité génétique, coévolution, évolution culturelle.
	Des acquis nouveaux à bâtir • La sélection (empirique ou programmée) exercée par l'être humain sur les plantes cultivées au cours des siècles a retenu des caractéristiques différentes de celles qui étaient favorables à leurs ancêtres sauvages. Cette sélection s'est opérée au cours de l'établissement d'une relation mutualiste entre plantes et êtres humains. • De nombreuses techniques favorisent la création de plus en plus rapide de nouvelles variétés végétales (par hybridation, par utilisation des biotechnologies…). • L'étude des génomes montre un appauvrissement global de la diversité allélique lors de la domestication. • Ces fragilités doivent être compensées par des pratiques culturales spécifiques. L'exploitation des ressources génétiques (historiques ou sauvages si elles existent) permet d'envisager de nouvelles méthodes de cultures (réduction de l'usage des intrants, limitation des ravageurs par lutte biologique). • La domestication des plantes, menée dans différentes régions du monde, a eu des conséquences importantes dans l'histoire des populations humaines. Elle a contribué à la sélection de caractères génétiques humains spécifiques.

Retrouvez éduscol sur

Le sous-thème en quatre tableaux synthétiques

L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs	
Concepts fondamentaux	
Les nécessités de l'existence d'un métabolisme qui permet de produire une diversité de molécules carbonées adaptées à la réussite du cycle des individus de l'espèce.	• Croissance et port de la plante. • Stockage de matières organiques (saccharose, amidon, protéines, lipides) sous forme de réserves dans différents organes, qui permet de résister à des conditions défavorables ou d'assurer la reproduction. • Interactions avec d'autres espèces, réactions à l'environnement. • **L'existence de grandes surfaces aériennes** permettant d'optimiser la captation de l'énergie lumineuse et la réalisation des échanges gazeux nécessaires à la photosynthèse. • **L'existence de grandes surfaces racinaires** (souvent augmentées par la mise en place de symbioses) permettant d'optimiser l'absorption de l'eau et des sels minéraux. • **L'existence de tissus conducteurs spécialisés** (xylème, Phloème) permettant d'assurer la continuité des échanges de matières au sein du végétal entre les lieux approvisionnement, synthèse organique, lieux de stockage).

La plante, productrice de matière organique	
Concepts fondamentaux	
Les conditions nécessaires à la réalisation du métabolisme photosynthétique qui n'est possible que si les angiospermes disposent de…	• Pigments chlorophylliens adaptées à capter efficacement les différentes longueurs d'ondes diffuses et d'intensité variables selon les milieux de vie occupés. • De l'eau dont la photolyse permet la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (ATP, et la production d'un potentiel réducteur (NADPH, H+). • Du carbone minéral (CO2), source de carbone à la base de l'autotrophie pour le C.

Reproduction de la plante entre vie fixée et mobilité	
Concepts fondamentaux	
Les caractéristiques de la reproduction sexuée favorisées par la sélection naturelle augmentent les chances de générer une descendance. Les modalités de la reproduction asexuée et leurs avantages adaptatifs.	• Les principales étapes de la reproduction sexuée permettant de générer des graines embryonnées (formes de dispersion). • L'existence d'organes reproducteurs spécialisés dans la reproduction sexuée : les fleurs aux plans d'organisation variés, avec des pièces florales stériles et des pièces florales fertiles et sexuées. • Les caractéristiques favorisant la rencontre des gamètes et la fécondation croisée à l'origine d'une diversité génétique des descendants (allogamie, source de diversité génétique). • Les caractéristiques favorisantes la protection et la dispersion des graines embryonnées. • Quelques modalités de reproduction asexuée ou végétative. • La génération de clones génétiquement identiques aux parents et donc potentiellement adaptés au milieu de vie occupé. • Ces modalités reposent sur un caractère sélectionné au cours de l'évolution : la totipotence des cellules végétales (capacité à se dédifférencier et se différencier en n'importe quel type cellulaire).

La domestication des plantes	
Concepts fondamentaux	
La dépendance de l'humanité et la diversité des enjeux de la production de semences.	• La place des végétaux dans tout système de production alimentaire et non alimentaires (fibres textiles, agrocarburants etc.). • Les enjeux géopolitiques à garantir la sécurité alimentaire pour tous, à garantir l'économie des filières alimentaires et non alimentaires qui dépendent des productions végétales et donc de la production de semences adaptées à des conditions de culture. • Les enjeux géopolitiques et de santé liés à une production alimentaire saine et durable dans un contexte incertain (réchauffement climatique, impacts sanitaires des pesticides). • Les bénéfices et risques liés aux pratiques agricoles adaptées aux types de variétés créées et sélectionnées. • Les services rendus par la biodiversité sauvage et cultivée dans la production de semences permettant de produire demain. • Les enjeux de préservation de la biodiversité ordinaire et cultivée.
L'origine des plantes cultivées et leur importance dans l'évolution passée de l'humanité dans une coévolution plante animal.	• La domestication : une sélection consciente ou inconsciente par l'Homme des phénotypes et donc des génotypes les mieux adaptés à ses besoins ou à ses conditions de cultures. • Les conséquences de cette sélection consciente ou inconsciente (empirique ou programmée) sur l'évolution des phénotypes et des génotypes des espèces végétales cultivées. • Les conséquences culturelles et génétiques de la domestication sur les populations humaines dans le cadre d'un bel exemple de coévolution Plante/animal. • La connaissance de l'histoire de quelques plantes cultivées (sans exhaustivité).
Les principes de techniques actuelles de création de variétés adaptées: versus de production agricole, leurs avantages, leurs inconvénients, leurs conséquences.	• Quelques techniques permettant l'amélioration des variétés commerciales : croisements, hybridation intra et interspécifique, transgénèse, clonage, polyploïdisation. • Des critères de sélection des variétés : agronomiques, environnementaux, économiques, sociologiques. • Les enjeux de la conservation de la biodiversité ordinaire ou cultivée car ces techniques s'appuient sur l'exploitation de la diversité génétique existante. • D'autres techniques de pratiques culturales : variétés populations dans le cadre des semences paysannes. • Les avantages et problèmes liés aux semences commerciales (industrielles conventionnelles ou biologiques) sélectionnées.

Ressources

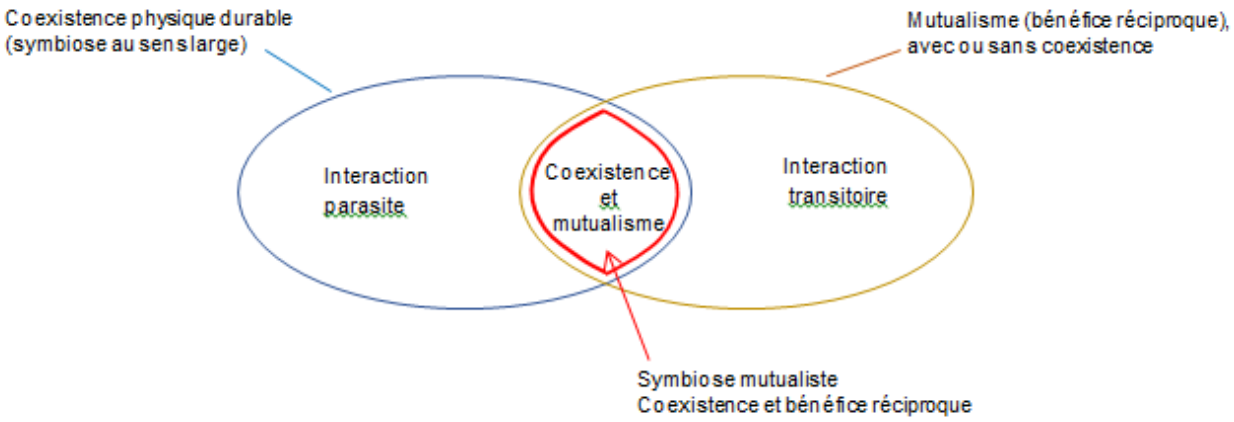
Le point sur les interactions entre espèces.

Le terme *mutualisme* a été proposé par Van Breneden (1875) pour désigner « **des organismes qui se procurent l'un l'autre des services** ». Actuellement on distingue la coopération (pour des interactions à bénéfices réciproques entre individus d'espèces identiques ou non) du mutualisme (restreint aux relations interspécifiques à bénéfices réciproques). Les partenaires peuvent interagir transitoirement, comme lors de la pollinisation, ou de la dispersion des graines par les frugivores.

Dans d'autres situations, les partenaires sont associés plus ou moins durablement au cours de leur vie : on parle de symbiose.

Pour certains auteurs, le terme de **symbiose au sens large** (du grec sun-, avec, et bios, vie) désigne une coexistence durable, impliquant tout ou partie du cycle de vie de deux organismes, quels que soient les échanges entre ceux-ci. La symbiose comprendrait alors le mutualisme, le commensalisme et le parasitisme (Mushegian et Ebert, 2016).

Une seconde définition restreint le terme **symbiose aux coexistences durables et mutualistes** (en rouge sur la figure (Laloy 1906, Sélosse 2001). Il s'agit pour eux d'une relation à bénéfices réciproques, équivalent au mutualisme, excluant de fait le commensalisme (neutre pour l'hôte) et le parasitisme (négatif pour l'hôte). Il est difficile de placer une limite entre mutualisme et parasitisme qui représente davantage deux situations extrêmes d'un continuum.



Relations entre symbiose et mutualisme

Place du mutualisme dans les interactions entre deux organismes

Partenaire A	Partenaire B (Hôte)	Type d'interaction
+	+	Mutualisme
+	-	Parasitisme (dont prédation)
+	0	Commensalisme
0	-	Amensalisme
0	0	Neutralisme
-	-	Compétition

(+) effet favorable ; (-) effet défavorable ; (0) aucun effet

- Le **mutualisme** : les deux partenaires tirent bénéfice de l'association.
- Le **parasitisme** : seul un des deux partenaires tire bénéfice de l'association, l'autre en tire un inconvénient.
- Le **commensalisme** : seul un des deux partenaires tire bénéfice de l'association, l'autre n'en tire aucun avantage ni inconvénient.
- Le **neutralisme** : aucun des deux partenaires ne tire ni avantage, ni bénéfice de l'association.
- La **compétition** : il existe une rivalité intraspécifique ou interspécifique pour l›accès aux ressources limitées du milieu.

Biologie évolutive, Thomas, Lefèvre, Raymond - Edition 2010, De Boeck

Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques

- Différents dossiers sur le thème des plantes sur la plateforme ACCES : http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/dossiers-thematiques/biodiversite-les-plantes
- Anatomie des Angiospermes sur le site Sorbonne Université Sciences : http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/anatomie/
- La biodiversité des Poacés sur le site botarela.fr : http://botarela.fr/Index.html
- Ressources autour d'une utilisation raisonnée des produits phytosanitaires sur le site ecophytopic.fr : https://ecophytopic.fr/
- Ressources autour des semences sur le site gnis-pedagogie.org : https://www.gnis-pedagogie.org/

Bibliographie

- « BOTANIQUE biologie et physiologie végétales » - auteurs : Sylvie MEYER, Catherine REEB, Robin BOSDEVEIX – éditeur : MALOINE
- « ATLAS BIOLOGIE VEGETALE – Tome 2 : Organisation des plantes à fleurs » - auteurs : Jean-Claude ROLAND, Françoise ROLAND, Hayat EL MAAROUF-BOUTEAU, François BOUTEAU – éditeur : DUNOD
- « PHYSIOLOGIE VEGETALE Tome 1 : Nutrition et Tome 2 : Développement » - auteurs : René HELLER, Robert ESNAULT, Claude LANCE – éditeur : DUNOD

Retrouvez éduscol sur

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

Liberté
Égalité
Fraternité

VOIE GÉNÉRALE

2DE | 1RE | TLE

Sciences de la vie et de la Terre

ENSEIGNEMENT
SPECIALITE

COMPORTEMENTS, MOUVEMENT ET SYSTÈME NERVEUX
PRODUIRE LE MOUVEMENT : CONTRACTION MUSCULAIRE ET APPORT D'ÉNERGIE
COMPORTEMENTS ET STRESS : VERS UNE VISION INTÉGRÉE DE L'ORGANISME

Thème
Thème 3 - Le corps humain et la santé.

Note d'intention
Cette fiche a pour objectif de préciser le sens qu'il est possible d'attribuer aux différentes parties du programme. Cette contribution au sens repose notamment sur les liens avec des enjeux éducatifs, la cohérence avec les programmes des autres niveaux, l'identification des fondamentaux à construire et des problématisations possibles pour contextualiser.

Mots-clés
Arc-réflexe ; muscles antagonistes ; neurone ; synapses neuro-neuronale et neuromusculaire ; codage électrique en fréquence ; codage biochimique en concentration ; neurone moteur, sommation temporelle et spatiale, aire motrice, plasticité cérébrale ; contraction, relâchement, glucose, énergie, ATP ; cerveau, adaptabilité de l'organisme, stress biologique, stress aigu, stress chronique.

SOMMAIRE

Enjeux éducatifs 2
Problématiser 3
Vision synoptique du sous-thème 4
Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire 4
Notions à consolider, notions à construire, limites 4
Cohérence avec les programmes précédents 4
Le thème en trois tableaux synthétiques 8
Ressources 10
Le point sur le stress 10
Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques 10

Enjeux éducatifs

Les études menées dans le cadre de la mise en œuvre des thématiques liées aux domaines de la physiologie humaine contribuent fortement à l'éducation à la santé[1]. Elles ont pour objectif de poursuivre celles du collège en examinant comment la santé se définit aujourd'hui dans une approche globale qui intègre l'individu dans son environnement et prend en compte les enjeux de santé publique.

Dans le domaine de la santé, une très grande diversité de messages est véhiculée au sein de la société, et l'exercice de l'esprit critique est particulièrement nécessaire, que ce soit face à la quantité croissante de mises en question des apports des sciences, ou tout simplement pour distinguer opinions, croyances et faits scientifiques. De même, il est important pour les élèves de bien distinguer la valeur d'une source : Internet propose en effet de nombreux sites qui n'ont de sérieux que l'apparence. De nombreuses « informations » circulent, par exemple concernant la question du stress, avec des contenus relevant du coaching (jusqu'à des possibilités de dérives sectaires) et non d'une expertise médicale sérieuse.

Outre cette question du traitement du stress, il est possible d'évoquer le test médical du réflexe myotatique, les conséquences des lésions médullaires, l'action des drogues, les risques liés à la prise de médicaments sans contrôle médical.

1. Portail de l'éducation à la santé – éduscol : https://eduscol.education.fr/pid23365/promotion-de-la-sante.html.

Retrouvez éduscol sur

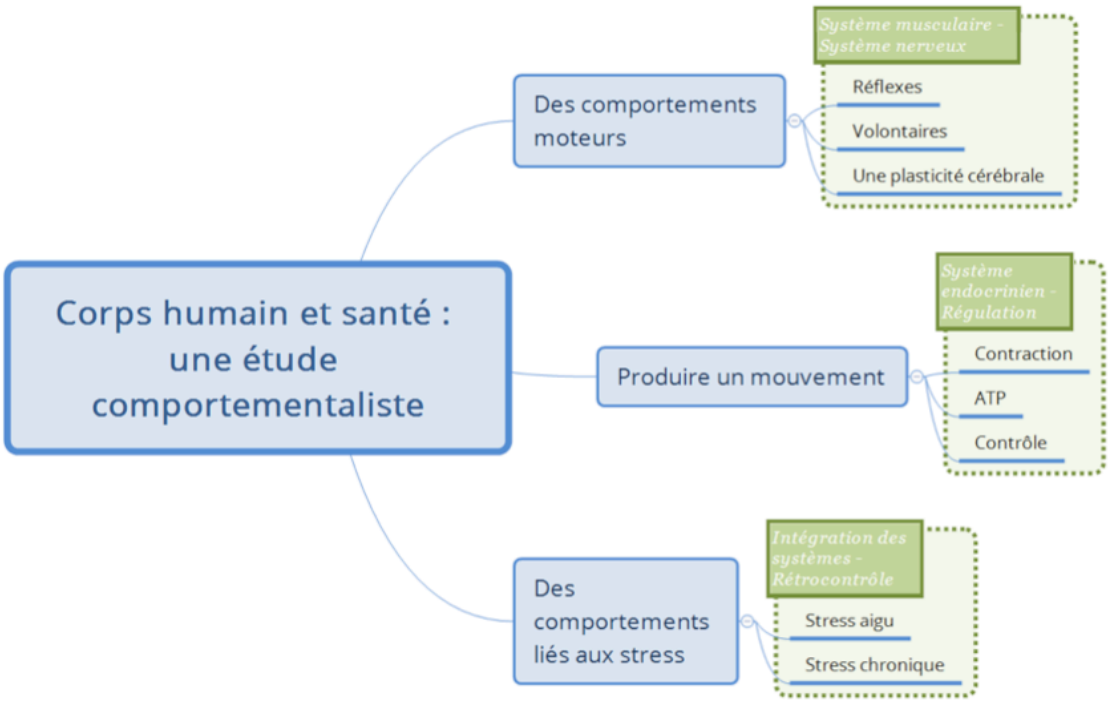
Problématiser

Des approches variées sont envisageables, mais celles qui permettent une vision systémique, qui sont en lien avec les questions de société, sont particulièrement intéressantes. C'est la raison pour laquelle une problématisation de l'ensemble du thème est à privilégier tant les différentes sous-parties s'accordent entre elles et font sens.

La carte heuristique ci-dessous l'illustre : l'ensemble des concepts abordés renvoie à des études en lien avec des comportements et construit une vision intégrée du fonctionnement de l'organisme (communication nerveuse, communication hormonale, régulation neuroendocrinienne).

En outre, amener les élèves à problématiser est un enjeu de formation important, au même titre que leur permettre de maîtriser les savoirs et démarches scientifiques traitant les problématiques. La carte heuristique peut être conçue avec les élèves dans le cadre d'une activité dédiée à la problématisation ou au traitement d'une problématique.

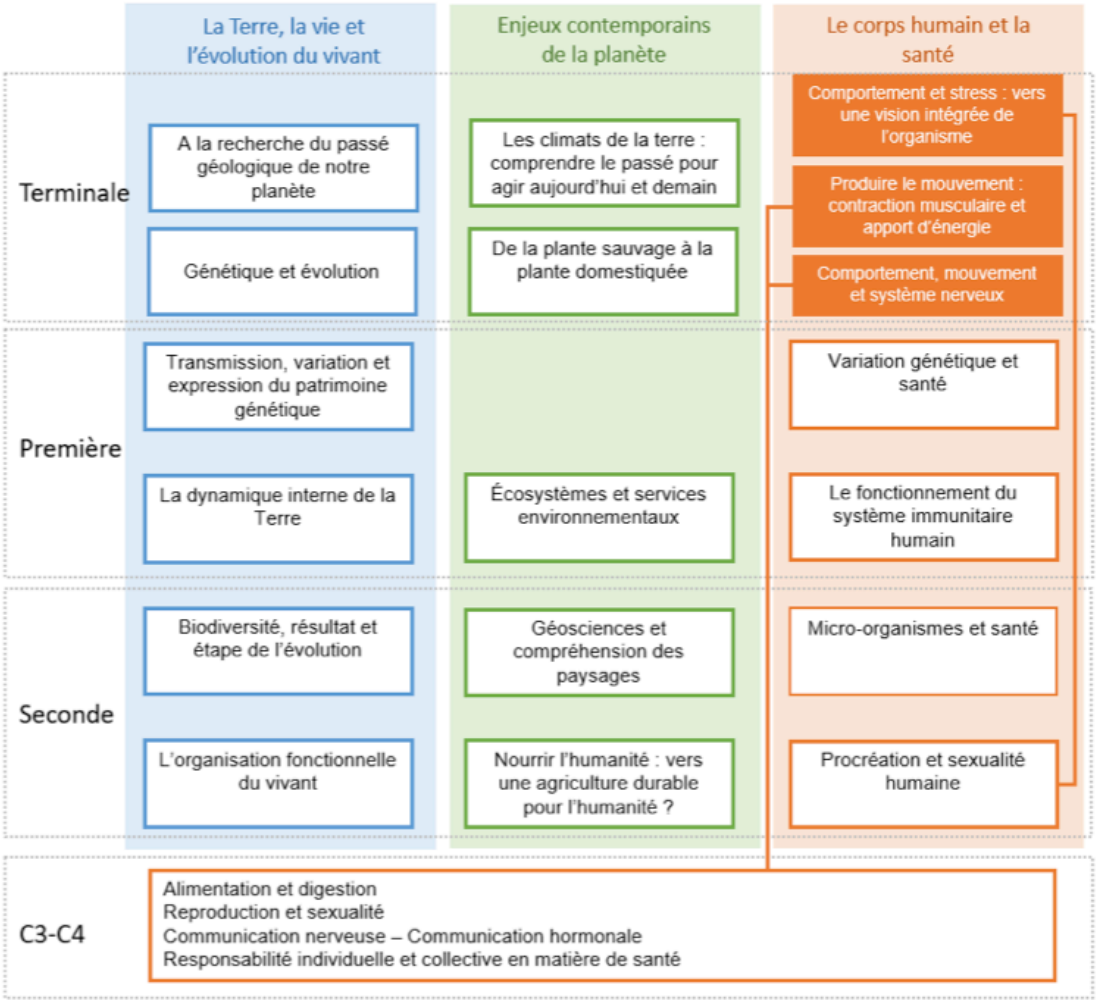
Des cas d'étude renvoyant à des troubles nerveux et/ou hormonaux, à des comportements de prise de médicaments, ou à des stress, peuvent très bien poser les bases d'une problématisation générale de la thématique. Il s'agit alors de mettre en œuvre les démarches d'investigation nécessaires pour construire des réponses.



Remarque : la partie « l'organisme débordé dans ses capacités d'adaptation » ne fait pas l'objet de questionnement à l'écrit du baccalauréat. Elle est donc traitée en dernier. Pour autant, la question du stress chronique peut tout à fait être posée dans le cadre d'une problématique qui exige de comprendre les bases du stress aigu.

Vision synoptique du sous-thème

Place du sous-thème dans les programmes de SVT du secondaire



Notions à consolider, notions à construire, limites

Cohérence avec les programmes précédents

Au cycle 3, les élèves ont pu aborder les besoins de l'organisme des êtres vivants en général (besoins alimentaires des animaux) et de l'être humain en particulier (apports alimentaires : qualité et quantité).

Les élèves appréhendent les fonctions de nutrition à partir d'observations (apports discontinus des repas / besoins continus) et perçoivent l'intégration des différentes fonctions.

Au cycle 4, les élèves abordent :

- comment le système nerveux (messages nerveux, centres nerveux, nerfs, cellules nerveuses) et le système cardiovasculaire interviennent lors d'un effort musculaire, en identifiant les capacités et les limites de l'organisme (à travers l'étude des rythmes cardiaque et respiratoire en lien avec l'effort physique) ;

Retrouvez éduscol sur

- comment le cerveau intervient dans la réception et l'intégration d'informations multiples ;
- comment certains comportements influent sur le fonctionnement du système nerveux (perturbations par certaines situations ou consommations, seuils, excès, dopage…).

Par ailleurs, l'étude des besoins nutritionnels abordés lors de l'étude du devenir des aliments dans le tube digestif complète les prérequis en termes d'apport de glucose et de dioxygène à l'origine de l'énergie pour le fonctionnement du corps humain.

Enfin, l'étude du fonctionnement des appareils reproducteurs à partir de la puberté offre une première approche de la régulation par communications nerveuse et hormonale.

Attendus de fin de cycle 4 :

- expliquer quelques processus biologiques impliqués dans le fonctionnement de l'organisme humain, jusqu'au niveau moléculaire : activités musculaire, nerveuse et cardio-vasculaire, activité cérébrale, alimentation et digestion, relations avec le monde microbien, reproduction et sexualité ;
- relier la connaissance de ces processus biologiques aux enjeux liés aux comportements responsables individuels et collectifs en matière de santé.

Au Lycée, dans les classes antérieures, les élèves ont pu acquérir de premières connaissances en lien avec les concepts abordés dans cette thématique. En classe de seconde, les élèves ont ainsi étudié :

- la cellule spécialisée, la matrice extracellulaire et les flux de matière entre cellules d'un organisme pluricellulaire ;
- le système de récompense ;
- une régulation hormonale impliquant cerveau et axe hypothalamo-hypophysaire (procréation).

En classe de première sont étudiés le système immunitaire, des mutations à l'origine de myopathies et le concept de résilience.

En enseignement scientifique en classe de première sont abordées l'organisation de la membrane plasmique ainsi que la plasticité cérébrale dans le cas de la fonction auditive.

Partie du sous-thème	Des acquis…
Comportements, mouvement et système nerveux	**Des acquis à consolider**[2] • L'étude de la cellule spécialisée, le neurone. • À partir d'une sensation de départ (stimulus) captée par un récepteur sensoriel, un message nerveux est élaboré. Il circule dans les neurones sensoriels jusqu'au centre nerveux puis dans le neurone-moteur. • La contraction musculaire est la réponse motrice au stimulus. • Certains dysfonctionnements du système nerveux modifient le comportement et ont des conséquences sur la santé. • La prise de substances exogènes (alcool, drogues) peut entraîner la perturbation des messages nerveux et provoquer des comportements addictifs.
	Des acquis nouveaux à batir • Les réflexes mettent en jeu différents éléments qui constituent l'arc-réflexe. • Un message nerveux codé en potentiels d'action. • Les relais synaptiques. La synapse neuromusculaire met en jeu l'acétylcholine. • La formation puis la propagation d'un potentiel d'action dans la cellule musculaire entraînent l'ouverture de canaux calciques à l'origine d'une augmentation de la concentration cytosolique en ions calcium, provenant du réticulum sarcoplasmique pour les muscles squelettiques. • Le cerveau : neurones et cellules gliales. • Les aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires. Le trajet des messages nerveux moteurs (faisceaux de neurones qui « descendent » dans la moelle jusqu'aux neurones-moteurs). Intégration au corps cellulaire du neurone-moteur. Chaque fibre musculaire reçoit le message d'un seul neurone moteur. • La plasticité cérébrale. • Les aires corticales communiquent entre elles par des voies neuronales où se propagent des potentiels d'action dont la fréquence d'émission est modulée par un ensemble de neurotransmetteurs.

2. À considérer comme des prérequis, indispensables pour aborder le programme : ils peuvent être réexpliqués, remobilisés, mais ne doivent pas faire l'objet de démarches spécifiques pour être redémontrés.

Partie du sous-thème	Des acquis…
Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie	**Des acquis à consolider** • La matrice extra-cellulaire. • La cellule spécialisée. • Les mutations (myopathies). • Le système de régulation hormonale. • Le flux de matière entre cellules d'un organisme pluricellulaire. • Les cellules musculaires ont besoin de nutriments, principalement de glucose et de dioxygène, puisés dans le sang.
	Des acquis nouveaux à batir • Le muscle strié. • La cellule musculaire, cellule spécialisée, est caractérisée par un cytosquelette particulier : actine et myosine. • La contraction musculaire nécessite des ions calcium et l'utilisation d'ATP comme source d'énergie. • Certaines myopathies : défaut dans les interactions entre les protéines membranaires des cellules et la matrice extra-cellulaire. • L'ATP. Il n'y a pas de stockage de l'ATP, cette molécule est produite par les cellules à partir de matière organique, notamment le glucose. • L'oxydation du glucose comprend la glycolyse (dans le hyaloplasme) puis le cycle de Krebs (dans la mitochondrie) : dans leur ensemble, ces réactions produisent du CO2 et des composés réduits NADH, H+. La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits, par la réduction de dioxygène en eau. • Voie anaérobie de la production d'ATP. • Des substances exogènes peuvent intervenir sur la masse ou le métabolisme musculaire, avec des effets parfois graves sur la santé. • Les réserves de glucose (glycogène) dans les cellules musculaires et dans les cellules hépatiques. Elles servent à entretenir des flux de glucose, variables selon l'activité, entre les organes sources (intestin et foie) et les organes consommateurs (dont les muscles). • La glycémie : dépend des apports alimentaires et est régulée par deux hormones sécrétées par le pancréas (insuline, glucagon). • Un dysfonctionnement : diabètes.

Retrouvez éduscol sur

Partie du sous-thème	Des acquis…
Comportements et stress : vers une vision intégrée de l'organisme	**Des acquis à consolider** • Réponses adaptatives impliquant le système nerveux.
	Des acquis nouveaux à batir • Le stress aigu : réponse adaptative face aux agents stresseurs. • Réponse rapide : le système limbique est stimulé, en particulier les zones impliquées dans les émotions telles que l'amygdale. Libération d'adrénaline par la glande médullo-surrénale (augmentation du rythme cardiaque, de la fréquence respiratoire et libération de glucose dans le sang). • Réponse lente : sécrétion de CRH par l'hypothalamus : le CRH met à contribution l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien, entrainant dans un second temps la libération du cortisol (mobilisation du glucose et inhibition de certaines fonctions, dont le système immunitaire). • Le cortisol exerce en retour un rétrocontrôle négatif sur la libération de CRH par l'hypothalamus : rétablissement de conditions de fonctionnement durable (résilience). • Stress chronique : si les agents stresseurs sont trop intenses ou si leur action dure, les mécanismes physiologiques sont débordés et le système se dérègle. • Plasticité mal-adaptative : éventuelles perturbations de l'attention, de la mémoire et des performances cognitives. • Prise de médicaments, comme les benzodiazépines : favoriser la résilience (cas de l'anxiété). • Certaines pratiques non médicamenteuses sont aussi susceptibles de limiter les dérèglements et de favoriser la résilience du système. • Chaque individu est différent face aux agents stresseurs, le stress intégrant des dimensions multiples et liées.

Le thème en trois tableaux synthétiques

Comportements, mouvement et système nerveux : concepts fondamentaux	
Vers une vision intégrée du fonctionnement du corps humain : système musculaire, système nerveux.	Il s'agit d'aborder la communication nerveuse et l'intégration des messages en s'appuyant sur la contraction musculaire. La plasticité cérébrale offre une vision plus complexe du système nerveux. • La contraction musculaire résulte d'une commande nerveuse. • Le mouvement induit peut être involontaire et lié à un réflexe (réflexe myotatique qui peut servir d'outil pour apprécier l'intégrité du système neuromusculaire), ou volontaire. • Dans les deux cas, le système nerveux central intervient, mais de manières différentes.

Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie : concepts fondamentaux	
Vers une vision intégrée du fonctionnement du corps humain : système endocrinien, rétrocontrôle.	Il s'agit d'aborder la communication hormonale et sa régulation en s'appuyant sur les besoins en énergie nécessaires au fonctionnement de la cellule. • La cellule musculaire dispose d'une organisation structurale lui permettant de se raccourcir, ce qui entraîne la contraction du muscle. • Elle a besoin d'énergie apportée sous forme d'ATP, produit à partir du glucose. • L'approvisionnement des cellules musculaires en glucose nécessite le maintien de la concentration de glucose sanguin, régulé par des hormones.

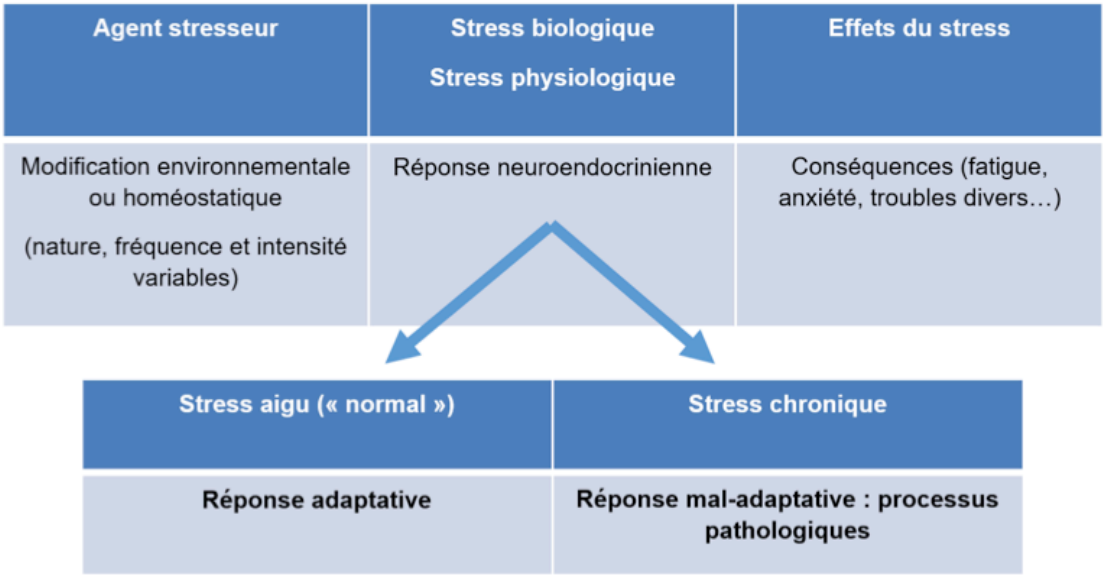
Comportements et stress : vers une vision intégrée de l'organisme : concepts fondamentaux	
Vers une vision intégrée du fonctionnement du corps humain : intégration des systèmes biologiques, rétrocontrôle (axe HHP), boucle de régulation neuro-hormonale.	Il s'agit d'aborder le système nerveux de manière intégrée, en lien avec les autres systèmes biologiques. C'est l'occasion aussi de construire une boucle de régulation neuro-hormonale complète. • Le stress physiologique est une réponse appropriée à des modifications environnementales ou homéostatiques. • Le maintien de l'homéostasie nécessite l'activation coordonnée des contrôles neuroendocriniens, cérébraux et autonomes. • Cette réponse globale est médiée par des circuits neuronaux largement chevauchants dans le système limbique, l'hypothalamus et le tronc cérébral. • La réponse s'adapte en fonction de la nature et de l'intensité du stresseur. Les interactions avec les systèmes de la récompense et de la mémoire adaptent aussi la réponse aux expériences passées : - si la menace est présente ou imminente, le stress correspond à une réaction de peur ; - si la menace est anticipée, le stress correspond à un comportement d'anxiété.

Ressources

Le point sur le stress

Une difficulté possible lors de cette étude est sémantique avec la notion de stress. Le « stress » en sciences n'est pas le « stress » tel qu'il est couramment accepté et utilisé dans la société.

Le plus souvent, quand un élève parle du stress, il en évoque ou bien une conséquence (nervosité, etc.) ou bien une cause de stress. Le programme ne s'intéresse directement ni à l'une ni à l'autre (même s'il est nécessaire de les évoquer pour donner du sens, mais sans approfondir les causes et les effets du stress) : le programme s'intéresse au **stress biologique ou physiologique**.



De même, dans le vocabulaire usuel, le terme « aigu » aura une connotation négative. Un stress aigu semble quelque chose de grave alors que, dans le domaine scientifique, le stress aigu désigne justement un stress « normal », une réponse adaptative et banale de l'organisme en réponse à des modifications environnementales. C'est bien le stress chronique qui est une réponse dite mal-adaptative et qui nécessite un suivi médical.

Sitographie : ressources scientifiques et pédagogiques

- Une publication de l'Inserm sur le stress biologique « Bases neurobiologiques et neuroendocriniennes du stress ».
- Une version plus synthétique du site médecine/sciences « Le stress dans tous ses états ».

Annexe – Programme d'enseignement scientifique de terminale générale

Préambule

L'ensemble des disciplines scientifiques concourt à la compréhension du monde, de son organisation, de son fonctionnement et des lois qui le régissent. Elles permettent aussi de maîtriser les outils et les technologies imaginés et mis en œuvre par les êtres humains. L'histoire des sciences raconte une aventure de l'esprit humain, lancé dans une exploration du monde (la science pour savoir) et dans une action sur le monde (la science pour faire).
Le développement des sciences et des technologies a profondément modifié les conditions de vie des êtres humains et les sociétés dans lesquelles ils vivent. Cela s'est traduit par d'importants progrès, dans les domaines de l'alimentation, de la santé, de la communication, des transports, etc. Grâce à ses inventions, l'être humain a les moyens de transformer son environnement immédiat. Les activités humaines utilisent massivement des ressources naturelles et produisent des déchets. Elles peuvent modifier les équilibres à l'échelle de la planète (biodiversité, climat, etc.).
Par, notamment, l'approche scientifique, l'être humain dispose des outils intellectuels nécessaires pour devenir un acteur conscient et responsable de sa relation au monde et de la transformation des sociétés. L'approche scientifique nourrit le jugement critique et rencontre des préoccupations d'ordre éthique. Ainsi, de façon rationnellement éclairée, chacun doit être en mesure de participer à la prise de décisions, individuelles et collectives, locales ou globales.
La science construit peu à peu un corpus de connaissances grâce à des méthodes spécifiques. Elle élabore un ensemble de théories, établit des lois, invente des concepts, découvre des mécanismes, effectue des mesures, analyse et traite des données, explique des processus, etc. ; cet ensemble se perfectionne par la confrontation à des faits nouvellement connus, souvent en lien avec l'évolution des techniques. Le savoir scientifique est une construction collective qui a une histoire. Il est fondé sur le raisonnement rationnel et la recherche de causes matérielles ; il se développe parfois en réfutation des intuitions premières au-delà desquelles la recherche doit s'aventurer.
La compréhension de l'histoire des savoirs scientifiques et de leur mode de construction, la pratique véritable d'une démarche scientifique (y compris dans sa dimension concrète) cultivent des qualités de l'esprit utiles à tous. En pratiquant la science, chacun fait croître ses connaissances, son intelligence, sa curiosité, sa raison, son habileté manuelle, son humilité devant les faits et les idées, pour enrichir son savoir.
Le but essentiel de l'enseignement scientifique dispensé dans le tronc commun de la filière générale du lycée est de donner une formation scientifique à tous les élèves, tout en offrant un solide ancrage à ceux qui poursuivent des études scientifiques. Il ne vise pas à construire un savoir encyclopédique, mais cherche plutôt à atteindre trois buts intimement liés :

- contribuer à faire de chaque élève une personne lucide, consciente de ce qu'elle est, de ce qu'est le monde et de ce qu'est sa relation au monde ;
- contribuer à faire des élèves des citoyens responsables, qui connaissent les conséquences de leurs actions sur le monde et disposent des outils nécessaires pour les analyser et les anticiper ;
- contribuer au développement en chaque élève d'un esprit rationnel, autonome et éclairé, capable d'exercer une analyse critique face aux fausses informations et aux rumeurs.

Programme

Pour atteindre les trois enjeux définis en préambule, ce programme précise, d'une part, des objectifs généraux de formation et présente, d'autre part, un ensemble d'objectifs thématiques dont les contenus sont largement interdisciplinaires.
Les objectifs généraux ont pour but d'aider les élèves à cerner la spécificité de la connaissance scientifique, dans ses pratiques, dans ses méthodes d'élaboration et dans ses enjeux de société. Les objectifs thématiques visent à consolider et à accroître la culture scientifique des élèves tout en leur fournissant les éléments d'une pratique autonome du raisonnement scientifique, dans des contextes variés.
Ces deux aspects sont complémentaires. Les professeurs décident comment satisfaire aux objectifs de formation générale en traitant les contenus de chaque thème. Ils doivent veiller à respecter un juste équilibre entre ces deux composantes de l'enseignement.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Les objectifs généraux de formation et les suggestions pédagogiques qui suivent concernent les deux années du cycle terminal dont les programmes constituent un ensemble cohérent. Certaines thématiques aux enjeux particulièrement importants (biodiversité, énergie, climat) sont abordées dans les programmes des deux années du cycle terminal.

I — Objectifs généraux de formation

L'enseignement scientifique cherche à développer des compétences générales par la pratique de la réflexion scientifique. **Les objectifs ci-dessous énoncés constituent une dimension essentielle de l'enseignement scientifique et ne doivent pas être négligés au profit du seul descriptif thématique.** Ils sont regroupés autour de trois idées liées entre elles.

A — Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration

Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur la description et l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à comprendre et à expliquer la réalité par des causes matérielles.
Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. Une certitude raisonnable s'installe et se précise progressivement, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction.

B — Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques

Au cours de leur activité de production du savoir, les scientifiques mettent en œuvre un certain nombre de pratiques qui, si elles ne sont pas spécifiques de leur travail, en sont néanmoins des aspects incontournables.
Quelques mots-clés permettent de les présenter : observer, décrire, mesurer, quantifier, calculer, analyser, imaginer, proposer, tester, modéliser, simuler, raisonner, expliquer, créer des scénarios pour envisager des futurs possibles ou remonter dans le passé.
Cet enseignement contribue au développement des compétences langagières orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit, chaque fois que l'on met en œuvre une authentique pratique scientifique, de l'expliciter et de prendre conscience de sa nature.

C — Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement

Les sociétés modernes sont profondément transformées par la science et ses applications technologiques, dont les effets touchent l'alimentation (agriculture et agroalimentaire), la santé (médecine), les communications (transports, échanges d'informations), l'apprentissage et la réflexion (intelligence artificielle), la maîtrise des risques naturels et technologiques, la protection de l'environnement, etc.
La compréhension de ces transformations est indispensable à la prise de décision ; elle distingue l'approche purement scientifique d'autres approches (économiques, éthiques, etc.).
De même, les activités humaines exercent sur l'environnement des effets que la science permet de comprendre et de contrôler.
Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit de faire comprendre en quoi la culture scientifique est aujourd'hui indispensable pour saisir l'évolution des sociétés comme celle de l'environnement et limiter les aspects négatifs de ces évolutions.
En classe terminale, l'enseignement scientifique peut être mis en relation avec le programme de philosophie concernant les questions d'épistémologie et d'éthique.

II — Suggestions pédagogiques

Si les objectifs généraux ou thématiques sont clairement identifiés dans le programme, la manière de les atteindre relève de la liberté pédagogique de l'équipe de professeurs. Ce paragraphe ne limite nullement cette liberté pédagogique ni n'en canalise l'expression. Cependant, quelques principes pédagogiques généraux méritent d'être pris en compte pour atteindre les objectifs fixés.

A — Un enseignement en prise avec le réel complexe

Le scientifique rend intelligible le monde en déchiffrant la réalité complexe dont il extrait des éléments qu'il analyse et dont il élucide les interactions. Il est néanmoins opportun de saisir une ou des occasion(s) de montrer la

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

complexité du réel lui-même. Une manière privilégiée de le faire consiste à travailler ponctuellement hors des murs de la classe ou de l'établissement (terrain, laboratoire, entreprise, musée, etc.).
La prise en compte de la complexité impose aussi le croisement des approches de plusieurs disciplines, ce qui se traduit par le caractère interdisciplinaire de cet enseignement (y compris en dehors du champ scientifique).

B — Une place particulière pour les mathématiques

Selon Galilée, le grand livre de la Nature est écrit en langage mathématique. En effet, les modèles mathématiques aident à comprendre le monde. C'est dans cet esprit que les mathématiques trouvent leur place dans ce programme d'enseignement scientifique. De surcroît, l'omniprésence (quoique souvent invisible) des mathématiques dans la vie quotidienne (professionnelle et sociale) invite aujourd'hui tout individu à disposer de savoirs et de savoir-faire mathématiques. Le traitement des thèmes figurant au programme permet de présenter des méthodes, modèles et outils mathématiques qui visent à décrire et expliquer la réalité complexe du monde, mais aussi à prédire ses évolutions. Parallèlement, le programme offre de nombreuses occasions de confronter les élèves à une pratique effective des mathématiques dans des contextes issus d'autres disciplines. Cette pratique leur permet à la fois de consolider, dans des contextes nouveaux, des compétences de calcul, de raisonnement logique et de représentation et d'exercer leur esprit critique en interrogeant les résultats d'un modèle mathématique.

C — Une place réservée à l'observation et l'expérience en laboratoire

Si des études documentaires, des expériences de pensée ou la résolution d'exercices permettent la mise en œuvre d'une démarche scientifique, la pratique expérimentale des élèves est essentielle. En particulier, il est bienvenu, chaque fois que possible, de créer les conditions permettant un travail de laboratoire fondé sur diverses formes de manipulations et d'observations. Ainsi, en se livrant à la confrontation entre faits et idées, l'élève comprend, en la pratiquant, la construction du savoir scientifique.

D — Une place importante pour l'histoire raisonnée des sciences

L'une des manières de comprendre comment se construit le savoir scientifique est de retracer le cheminement effectif de sa construction au cours de l'histoire des sciences. Il ne s'agit pas de donner à l'élève l'illusion qu'il trouve en quelques minutes ce qui a demandé le travail de nombreuses générations de chercheurs, mais plutôt, en se focalisant sur un petit nombre d'étapes bien choisies de l'histoire des sciences, de faire comprendre le rôle-clé joué par certaines découvertes et de replacer celles-ci dans le contexte sociétal de l'époque. Le rôle prépondérant de grandes figures de la science, dans l'histoire et dans le monde contemporain, sera souligné. Ce sera aussi l'occasion de montrer que les avancées majeures du savoir scientifique sont des aventures humaines. Cela permettra de poser la question de la dimension sociale et culturelle de la construction du savoir scientifique, en particulier celle de la place des femmes dans l'histoire des sciences. Des controverses agitent la communauté scientifique et conduisent à de nouvelles investigations, et ainsi, peu à peu, le savoir progresse et se précise.

E — Un usage explicité des outils numériques

Des outils numériques variés trouvent des applications dans le cadre de l'enseignement scientifique : logiciels de calcul ou de simulation, environnements de programmation, logiciels tableurs, etc. Il convient d'associer leur utilisation par les élèves à la compréhension au moins élémentaire de leur nature et de leur fonctionnement.

II — Objectifs thématiques

La suite du programme se présente comme une succession de trois thèmes, présentant de forts enjeux de société. Ces thèmes sont au service des trois grands objectifs de formation (*Comprendre la nature du savoir scientifique et ses modes d'élaboration*, *Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques*, *Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement*). Sa structure est explicitée ci-dessous.
Après une courte introduction, la rubrique *Objectifs* explicite, au-delà des savoirs et des savoir-faire, les lignes de force visées pour chaque thème étudié.
Une disposition en colonnes indique des savoirs et savoir-faire exigibles. Ce sont des objectifs précisément identifiés (notamment en vue de l'évaluation). Ils laissent au professeur ou à l'équipe de professeurs toute latitude pour construire la démarche. Cette double colonne indique les attendus spécifiques des thèmes. L'objectif de l'enseignement est à la fois de construire ces attendus, de former l'esprit et d'atteindre les objectifs généraux listés plus haut.
Des liens avec les mathématiques sont indiqués par une flèche double dans la colonne des savoir-faire. La double-flèche permet de mettre en avant les allers-retours entre situation contextualisée et formalisme mathématique. Il appartient au professeur de souligner ces aspects.
Pour atteindre les deux objectifs (*Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration*, et *Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement*), la rubrique Pistes de mise en œuvre du programme propose des thématiques aptes à inspirer et à aider le professeur. Elle ne contient aucun savoir

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

ou savoir-faire exigible. Le professeur peut, dans le cadre de sa liberté pédagogique, choisir d'autres exemples pour travailler les deux objectifs précités.
Enfin, le professeur peut avantageusement, comme en classe de première, mais sans pour autant que cela ne constitue une obligation, s'appuyer sur une démarche de projet pour aborder un ou plusieurs éléments constitutifs du programme de terminale.

Thème 1 — Science, climat et société

Introduction et enjeux. L'atmosphère primitive de la Terre était différente de celle d'aujourd'hui. Sa transformation au cours des 4,6 milliards d'années est liée aux processus géologiques et biologiques. Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine modifie de manière significative et rapide la composition atmosphérique. Ces modifications affectent l'équilibre dynamique des enveloppes fluides de la Terre.

Les conséquences de l'activité humaine sur la composition atmosphérique, celles qui sont déjà observées et celles qui sont prévisibles, sont multiples et importantes, tant pour l'humanité que pour les écosystèmes. Les choix raisonnés des individus et des sociétés dans ce domaine s'appuient sur les apports des sciences et des technologies.

Objectifs. Cette partie du programme s'applique à démontrer que la composition de l'atmosphère terrestre résulte d'interactions complexes avec les autres enveloppes superficielles.

Présente parmi les gaz de l'atmosphère primitive, l'eau s'est rapidement condensée. L'apparition de l'eau liquide est une condition indispensable à l'émergence de la vie. Le développement des organismes vivants a eu un effet majeur sur l'évolution de la teneur relative des différents gaz au cours du temps. Certains gaz atmosphériques participent de manière importante au bilan radiatif de la planète Terre.

Ce thème met en évidence que les connaissances acquises permettent aujourd'hui aux scientifiques de proposer des modèles robustes du fonctionnement des systèmes climatiques et d'envisager, malgré leur grande complexité, des scénarios des climats du futur.

1.1 — L'atmosphère terrestre et la vie

Depuis l'époque de sa formation, quasi concomitante de celle du Soleil et des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface et de la composition de son atmosphère. Sa température moyenne et sa pression atmosphérique de surface permettent l'existence d'eau liquide, formant l'hydrosphère. Aux facteurs physiques et géologiques (activité solaire, distance au Soleil, tectonique) s'est ajoutée l'émergence des êtres vivants et de leurs métabolismes.

Savoirs	Savoir-faire
Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'atmosphère primitive était composée de N_2, CO_2 et H_2O. Sa composition actuelle est d'environ 78 % de N_2 et 21 % de O_2, avec des traces d'autres gaz (dont H_2O, CO_2, CH_4, N_2O).	Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.
Le refroidissement de la surface de la Terre primitive a conduit à la liquéfaction très rapide (à l'échelle des temps géologiques) de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère initiale. Dans l'hydrosphère ainsi formée s'est développée la vie.	Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression données à partir de la lecture de son diagramme d'état.
Les premières traces de bactéries photosynthétiques sont datées d'il y a au moins 3,5 milliards d'années. Par leur métabolisme photosynthétique, ces bactéries ont contribué à l'oxygénation de l'atmosphère terrestre il y a 2,4 milliards d'années. Les interactions entre l'atmosphère et la biosphère ont contribué à des modifications de la biodiversité.	Mettre en relation la production de dioxygène dans l'atmosphère avec des indices géologiques.
Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.	Suivre l'évolution de la teneur atmosphérique en dioxygène au cours des temps géologiques et la relier à l'évolution de la biodiversité.
Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène de la stratosphère peut se dissocier, engageant une transformation chimique qui aboutit à la formation d'ozone. Cet ozone stratosphérique absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.	Mettre en relation des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet. ↔ Organisation et exploitation de données. ↔ Lectures graphiques. ↔ Ordres de grandeur. Puissances de 10.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

	↔ Pourcentages.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

La présence d'eau dans les corps célestes du système solaire.

Histoire des sciences : l'apparition de la vie sur Terre, expériences de Ruben et Kamen (1941).

Esprit critique : l'expression « trou dans la couche d'ozone » est-elle scientifiquement robuste ?

Élaboration de l'unité Dobson.

Sciences, société et environnement

La diminution d'ozone stratosphérique, une origine purement anthropique ?

« Le trou dans la couche d'ozone » : de sa découverte à des prises de décisions mondiales.

La vie sans dioxygène.

1.2 — La complexité du système climatique

Le système climatique et son évolution dans le temps résultent de plusieurs facteurs naturels et d'interactions entre océans, atmosphère, biosphère, lithosphère et cryosphère. Il est nécessaire de prendre en compte ces interactions à différentes échelles spatiales et temporelles (de l'année au million d'années, voire davantage). Le système climatique présente une variabilité spontanée et réagit aux perturbations de son bilan énergétique par des mécanismes appelés rétroactions. Les facteurs anthropiques ont des conséquences irréversibles à court terme. Les notions d'équilibre radiatif de la Terre et d'effet de serre atmosphérique, étudiées en classe de première, sont mobilisées.

Savoirs	Savoir-faire
La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires, etc.). La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines). La température moyenne de la Terre, calculée à partir de mesures de terrain et depuis l'espace par des satellites, est l'un des indicateurs du climat global. Il en existe d'autres : niveau des océans, étendue des glaces polaires et des glaciers, etc. Le climat de la Terre présente une variabilité naturelle sur différentes échelles de temps. Toutefois, depuis plusieurs centaines de milliers d'années, jamais la concentration du dioxyde de carbone atmosphérique n'a augmenté aussi rapidement qu'actuellement.	Distinguer sur un document des données relevant du climat, d'une part, de la météorologie, d'autre part. Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques. Identifier des indices de variations climatiques passées (pollens, glaciers, etc.). ↔ Lectures graphiques. ↔ Puissance de 10. ↔ Organisation et exploitation de données.
Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ +1°C). Celui-ci est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO_2, CH_4, N_2O et vapeur d'eau, principalement. Lorsque la concentration des GES augmente, l'atmosphère absorbe davantage le rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. Il en résulte une augmentation de la puissance radiative reçue par la surface terrestre de l'atmosphère. Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle. L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans.	Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques et de son abondance. Interpréter des documents donnant la variation d'un indicateur climatique en fonction du temps (occurrence et intensité des événements météorologiques extrêmes, niveau des océans, extension d'un glacier, etc.). Analyser la variation au cours du temps de la teneur atmosphérique en CO_2 et la variation de la température moyenne. ↔ Lectures graphiques. ↔ Pourcentages. ↔ Calculs de moyennes. ↔ Variation absolue, variation relative.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs (rétroaction positive), dont : - l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ; - la décroissance de la surface couverte par les glaces et la diminution de l'albédo terrestre ; - le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère. L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie. Cela conduit à une élévation du niveau des océans causée par la dilatation thermique de l'eau. À celle-ci s'ajoute la fusion des glaces continentales. Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles. L'océan joue également un rôle d'amortisseur en absorbant une partie du CO_2 émis par les activités humaines. À court terme, les organismes chlorophylliens constituent un puits de CO_2, ce qui a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).	Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui agissent sur la dynamique du système climatique. Expliquer la différence d'incidence entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer. Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée. ↔ Taux de variation. ↔ Logique. ↔ Géométrie : calculs d'aires et de volumes.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Développement des données satellitaires et combinaison avec des mesures de terrain.

Histoire des sciences : le développement des modèles climatiques des années 1970 à nos jours.

Les bases physiques de la climatologie (prix Nobel 2021 pour Hasselmann et Manabe).

Climato-scepticisme : débat scientifique ou biais de raisonnement et d'argumentation.

Sciences, société et environnement

Émergence et propagation de maladies vectorielles à la suite des changements climatiques.

Effet du réchauffement climatique sur les activités et productions agricoles.

Lien entre phénomènes météorologiques extrêmes et réchauffement climatique.

La petite ère glaciaire en Europe.

Les territoires littoraux et le réchauffement climatique (pêche, montée des eaux, etc.).

Changement climatique et incidence sur les populations : déplacement, taux de reproduction, survie, etc.

1.3 — Le climat du futur

L'analyse du système climatique, réalisée à l'aide de modèles numériques, repose sur des mesures et des calculs faisant appel à des lois physiques, chimiques, biologiques connues. Assorties d'hypothèses portant sur l'évolution de la production des gaz à effet de serre, les projections issues de ces modèles dessinent des fourchettes d'évolution et des scénarios du système climatique au XXIe siècle.

Savoirs	Savoir-faire
Les modèles climatiques s'appuient sur : - la mise en équation des mécanismes essentiels qui agissent sur le système Terre ; - des méthodes numériques de résolution. Pour évaluer les modèles, et ainsi les valider ou les faire évoluer, les résultats obtenus sont comparés aux observations de terrain et observations spatiales ainsi qu'à la connaissance des paléoclimats. Ces modèles, nombreux et indépendants, produisent des projections climatiques. Après avoir anticipé les évolutions des dernières décennies, ils estiment les variations climatiques globales et locales à venir sur des décennies ou des siècles.	Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques. ↔ Lectures graphiques ↔ Corrélation et causalité
L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et	Exploiter les résultats d'un modèle

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

modélisations numériques permet aujourd'hui de conclure que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine : le dioxyde de carbone produit par la combustion de substances carbonées fossiles, l'artificialisation des sols, la calcination des carbonates, le méthane issu de fuites de gaz naturel ou de pétrole, ou produit par la fermentation dans les décharges et certaines activités agricoles. Les modèles s'accordent à prévoir avec une forte probabilité d'occurrence : - une augmentation de 1,5 à 5°C de la température moyenne avant la fin du XXIe siècle ; - une élévation du niveau moyen des océans entre le début et la fin du XXIe siècle pouvant atteindre le mètre ; - des modifications des régimes de pluie et des événements météorologiques extrêmes ; - une acidification des océans ; - des incidences majeures sur les écosystèmes terrestres et marins.	climatique pour justifier que certaines corrélations sont explicables par des liens de cause à effet. ↔ Lectures graphiques. ↔ Corrélation et causalité. ↔ Logique.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

La notion de modèle en sciences : les différents modèles climatiques et leurs prédictions.

Pourquoi les scientifiques ne s'accordent-ils pas sur un modèle unique ?

La notion d'incertitude en sciences.

Sciences, société et environnement

Les acteurs des analyses climatiques : recherche et programmes mondiaux (Organisation météorologique mondiale, modèles climatiques) ; coordination (Organisation des nations unies) ; évaluation (Groupe intergouvernemental pour l'étude du climat).

Les conséquences du réchauffement climatique et les enjeux géopolitiques (COP).

Les pistes d'atténuation et d'adaptation au réchauffement climatique.

Les émissions de CO_2 causées par la production du ciment.

Les différentes sources de production du méthane liées aux activités humaines.

Thème 2 — Le futur des énergies

Introduction et enjeux. La consommation d'énergie joue un rôle essentiel dans le développement des sociétés humaines. Depuis la révolution industrielle, ce dernier s'est appuyé largement sur les combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique. Produire de l'énergie sans contribuer au changement climatique ou à la dégradation de la planète est devenu un enjeu majeur de la transition écologique.

Objectifs. Il est essentiel d'identifier les effets, sur la production de gaz à effet de serre, de la fabrication puis de l'usage de tout produit de consommation. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur l'environnement et la santé, est importante.

Dans le secteur de l'énergie, l'électricité joue depuis deux siècles un rôle particulier. Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, en concevoir le stockage sous d'autres formes, assurer son transport, sont des enjeux fondamentaux à prendre en compte dans un contexte de transition écologique.

2.1 — Deux siècles d'énergie électrique

Depuis le XIXe siècle, les progrès de la recherche scientifique fondamentale et de l'invention technique ont conduit à développer des générateurs électriques performants.

Historiquement, le développement des techniques d'obtention d'énergie électrique s'est appuyé sur des découvertes expérimentales et des avancées théoriques qui furent souvent le résultat de recherches dont ce développement n'était pas le but premier. Il est ainsi fréquent que les résultats de la recherche fondamentale aboutissent à des innovations technologiques non anticipées.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Savoirs	Savoir-faire
Les alternateurs électriques exploitent le phénomène d'induction électromagnétique découvert par Faraday puis théorisé par Maxwell au XIXe siècle. Ils réalisent une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique avec un rendement potentiellement proche de 1. Au début du XXe siècle, la physique a connu une révolution conceptuelle avec la mécanique quantique, qui traite du comportement fondamentalement probabiliste de la nature à l'échelle microscopique. L'exploitation technologique des matériaux semi-conducteurs, en particulier du silicium, en est une conséquence. Ces matériaux sont utilisés en électronique et sont constitutifs des capteurs photovoltaïques. Ceux-ci absorbent l'énergie radiative et la convertissent partiellement en énergie électrique.	Reconnaître les éléments principaux d'un alternateur (source de champ magnétique et fil conducteur en mouvement relatif) dans un schéma fourni. Relier la vitesse de rotation du rotor et la fréquence du courant électrique. Définir le rendement d'un alternateur et citer un phénomène susceptible de l'influencer. Comparer le spectre d'absorption d'un matériau semi-conducteur et le spectre solaire pour discuter si ce matériau est susceptible d'être utilisé pour fabriquer un capteur photovoltaïque. Argumenter autour de la mise en place d'une installation photovoltaïque domestique ou industrielle. ↔ Lectures graphiques. ↔ Grandeurs et mesures. Grandeurs quotients.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : l'essor de l'électromagnétisme au XIXe siècle.

Histoire des sciences et des technologies : « La bataille des courants », le choix entre le courant continu et le courant alternatif.

Histoire des sciences : Einstein et les quanta.

Sciences, société et environnement

Incidence environnementale de l'exploitation du silicium pour la fabrication des panneaux solaires.

Choix de la fréquence du courant alternatif du réseau électrique.

Enjeux économiques des usages des matériaux semi-conducteurs.

Interaction entre savoirs scientifiques et société : *La Fée Électricité* (Raoul Dufy) à l'Exposition universelle de 1937.

2.2 — Conversion et transport de l'énergie électrique

L'énergie électrique joue un rôle central aujourd'hui et présente plusieurs avantages : une distribution sûre, des réseaux de distribution étendus, des convertisseurs de bon rendement permettant d'obtenir l'énergie électrique ou de la transformer en d'autres formes d'énergie.

L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie son importance actuelle et future.

Savoirs	Savoir-faire
Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion : - la conversion d'énergie mécanique, soit directe (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit indirecte à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) ; - la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ; - la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).	Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie. ↔ Grandeurs et mesures. ↔ Grandeurs proportionnelles. ↔ Grandeurs quotients.
Ces méthodes sans combustion ont néanmoins un effet sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels, etc.).	Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur. L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée. Le réseau de transport de l'électricité est maillé au niveau européen. En cas de déséquilibre entre l'offre et la demande, il est nécessaire de mobiliser des réserves d'énergie, de diminuer la consommation ou la production ou de stocker de l'énergie. Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, une possibilité est de convertir l'énergie électrique sous une forme stockable : - énergie chimique ; - énergie mécanique ; - énergie électromagnétique.	Utiliser les formules littérales reliant la puissance à l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule dans les lignes électriques. Comparer des dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (capacité et durée de stockage, incidence écologique, masses mises en jeu par kilowattheure). ↔ Grandeurs quotients. ↔ Calcul littéral. ↔ Grandeurs et mesures.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Le développement des combustibles alternatifs à empreinte carbone réduite.

Histoire des sciences et des techniques : les piles et les accumulateurs.

Sciences, société et environnement

Les enjeux de l'utilisation de l'énergie nucléaire : de la fission à la fusion contrôlée.

Les usages et le recyclage des accumulateurs électrochimiques.

La régulation du réseau de transport d'électricité français et européen.

2.3 — Énergie, choix de développement et futur climatique

La consommation mondiale d'énergie, en forte augmentation, fait majoritairement appel aux combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique.

Les activités humaines modifient de manière rapide certains flux associés au cycle du carbone. Dans ce contexte, l'estimation d'une empreinte carbone est essentielle pour élaborer des scénarios et fixer des objectifs de réduction.

Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en œuvre.

La notion de risques étudiée au collège et en classe de seconde est convoquée.

Savoirs	Savoir-Faire
L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominent. Leur consommation est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus. La croissance de la consommation globale (doublement dans les 40 dernières années) est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés. En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et dans une moindre mesure par le secteur agricole. Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (radiatif solaire, géothermique et des marées).	Utiliser les différentes unités d'énergie (tonne équivalent pétrole (tep), kilowattheure (kWh), etc.). Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, locale, individuelle). Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, moteurs, centrale électrique, flux radiatif solaire, etc. ↔ Organisation et exploitation de données. ↔ Lectures graphiques. ↔ Puissances de 10, ordres de grandeur. ↔ Conversion d'unités, proportionnalité. ↔ Grandeurs quotients.
Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs	Analyser un schéma représentant le cycle

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

superficiels. L'élément carbone circule entre ces différents réservoirs terrestres, constituant le cycle du carbone. Les combustibles fossiles se sont formés à partir du carbone contenu dans la matière organique des êtres vivants, résultant de la réduction du CO_2 par photosynthèse il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont qualifiées de non renouvelables.	biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non. Citer les ordres de grandeur des durées nécessaires aux transformations du carbone.
La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone, également des aérosols et d'autres substances (N_2O, O_3, suies, produits soufrés) qui affectent la qualité de l'air inhalé et la santé.	Ajuster l'équation d'une réaction chimique d'oxydation par le dioxygène. Comparer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles. Distinguer ozone stratosphérique et troposphérique. À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions. ↔ Grandeurs et mesures. ↔ Grandeurs quotients.
L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO_2 produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.	À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.
Les scénarios de transition écologique font différentes hypothèses sur la quantité de GES émise dans le futur. Ils évaluent les changements prévisibles, affectant les écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains, principalement les plus vulnérables. Les projections fournies par les modèles permettent de définir les aléas et peuvent orienter les prises de décision. Dans le domaine énergétique, le choix des mesures d'adaptation et d'atténuation doit tenir compte de nombreux critères et paramètres : disponibilité des ressources et adéquation aux besoins, effets (climatique, écologique, sanitaire, agricole), vulnérabilités et gestion des risques, faisabilité, conséquences économiques et sociales. Les durées longues, liées à l'inertie de certains systèmes (infrastructures énergétiques, transports, production industrielle), sont à confronter à l'urgence de l'action. La transition écologique des sociétés repose sur la créativité scientifique et technologique (recherche de diversification ou d'évolution des ressources, mix énergétique, etc.) et sur l'évolution des comportements individuels et collectifs (consommation, déplacements, etc.).	Discuter des incidences de l'augmentation du CO_2 sur le développement de la végétation. Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux. Analyser d'un point de vue global les incidences de choix énergétiques majeurs : exemple du nucléaire en France. Dans une étude de cas, analyser des choix énergétiques locaux selon les critères et les paramètres mentionnés. ↔ Organisation et exploitation de données. ↔ Lectures graphiques. ↔ Ordres de grandeur.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

Pistes pour la mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences et des techniques : évolution de l'exploitation des ressources hydrauliques au cours des siècles.

Histoire des sciences : de la mesure de l'incidence du CO_2 sur le climat à la naissance du GIEC.

Histoire des sciences : évolution des scénarios de transition écologique proposés par le GIEC depuis sa création.

Histoire des sciences : de la découverte de la fission au développement des centrales nucléaires.

Estimation des réserves de combustibles fossiles.

Sciences, société et environnement

Gestion des déchets issus des centrales nucléaires.

Impact environnemental du développement de parcs éoliens et hydroliens.

Évaluation de la disponibilité d'une ressource énergétique intermittente.

Développement de la voiture électrique.

Empreinte carbone d'un établissement scolaire.

Les objectifs de développement durable de l'Organisation des nations unies.

Les mesures prises pour améliorer la qualité de l'air en lien avec la santé.

Utilisation de bio-indicateurs pour évaluer les pollutions atmosphériques urbaines.

Les pistes de décarbonation.

Incidence de la diminution du phytoplancton sur l'équilibre des flux de carbone.

Thème 3 — Une histoire du vivant

Introduction et enjeux. La Terre est habitée par une grande diversité d'êtres vivants, dont l'espèce humaine. Cette biodiversité est dynamique et issue d'une longue histoire : l'évolution des espèces. Les activités humaines se sont développées et ont des effets directs et indirects sur les écosystèmes. Une approche systémique met en lumière les relations entre la santé humaine, la santé animale et les écosystèmes.

Les mathématiques proposent des modèles pour mieux appréhender la dynamique des systèmes vivants. L'être humain a construit des machines pour traiter l'information et a créé des langages pour les commander. Avec les méthodes de l'intelligence artificielle, il continue d'étendre les capacités de traitement de données et les domaines d'application de l'informatique.

Les thématiques abordées sont éventuellement l'occasion pour les professeurs de remobiliser des contenus mathématiques abordés dans le cadre du programme de mathématiques intégré à l'enseignement scientifique en classe de première générale, en particulier concernant les phénomènes aléatoires et les phénomènes d'évolution.

Objectifs. Une partie de la biodiversité actuelle est encore méconnue. Diverses approches cherchent à l'estimer et à en comprendre l'évolution. Ce thème est l'occasion d'approfondir les processus permettant l'apparition de nouveautés au sein de populations. Ces dernières sont soumises à des pressions de sélection qui vont modifier la fréquence de représentation de ces nouveautés et donc participer à l'évolution des espèces. L'être humain peut être à l'origine de façon directe ou indirecte de telles pressions. L'espèce humaine, comme les autres êtres vivants, est issue d'une histoire évolutive complexe que la paléoanthropologie cherche à retracer. Les archives paléontologiques sont rares, mais des techniques de biologie moléculaire les complètent.

La démarche de modélisation mathématique comporte plusieurs étapes : identification du type de modèle le mieux adapté pour traduire la réalité, détermination des paramètres du modèle, confrontation des résultats du modèle à des observations, qui peut conduire à limiter son domaine de validité ou à le modifier.

Les mathématiques et l'informatique contribuent à l'élaboration de modèles démographiques et au développement de l'intelligence artificielle dont les nombreuses potentialités et les limites, notamment éthiques, sont à discuter.

3.1 — La biodiversité et son évolution

Évaluer la biodiversité à différentes échelles spatiales et temporelles représente un enjeu majeur pour comprendre sa dynamique et les conséquences des actions humaines. Les populations évoluent au cours du temps. Des modèles mathématiques probabilistes et des outils statistiques permettent d'étudier les mécanismes évolutifs impliqués.

Savoirs	Savoir-faire
Il existe sur Terre un grand nombre d'espèces. Les	Exploiter des données obtenues au cours d'une sortie de

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

scientifiques estiment cependant qu'une part importante de la biodiversité reste à découvrir. La biodiversité se mesure entre autres par des techniques d'échantillonnage qui permettent d'estimer le nombre d'espèces dans différents écosystèmes. Les composantes de la biodiversité peuvent aussi être décrites par l'abondance (nombre d'individus) d'une population, d'une espèce ou d'un plus grand taxon. La méthode de capture-marquage-recapture repose sur des calculs effectués sur un échantillon. Si on suppose que la proportion d'individus marqués est identique dans l'échantillon de recapture et dans la population totale, l'effectif de celle-ci s'obtient par le calcul d'une quatrième proportionnelle. À partir d'un seul échantillon, l'effectif d'une population peut également être estimé à l'aide d'un intervalle de confiance. Une telle estimation est toujours assortie d'un niveau de confiance strictement inférieur à 100 % en raison de la fluctuation des échantillons. Pour un niveau de confiance donné, l'estimation est d'autant plus précise que la taille de l'échantillon est grande.	terrain ou d'explorations scientifiques (historiques et/ou actuelles) pour estimer la biodiversité (richesse spécifique et/ou abondance relative de chaque taxon). Exploiter des résultats de métagénomique. Quantifier l'effectif d'une population ou d'un taxon plus vaste à partir de résultats d'échantillonnage. Estimer une abondance par la méthode de capture-marquage-recapture. À l'aide d'un tableur, simuler des séries de recaptures, les moyenner et visualiser la fluctuation due à l'expérience. En utilisant une formule donnée pour un intervalle de confiance au niveau de confiance de 95 %, estimer un paramètre inconnu dans une population de grande taille à partir des résultats observés sur un échantillon. ↔ Proportions. ↔ Fluctuation d'échantillonnage. ↔ Intervalle de confiance.
La composition génétique des populations d'une espèce change de génération en génération. Le modèle mathématique de Hardy-Weinberg utilise la théorie des probabilités pour décrire le phénomène aléatoire de transmission des allèles dans une population. En assimilant les probabilités à des fréquences pour des effectifs de grande taille (loi des grands nombres), le modèle prédit que la structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (absence de migration, de mutation, de sélection et de dérive). Cette stabilité théorique est connue sous le nom d'équilibre de Hardy-Weinberg. Les limites du modèle s'expriment dans les écarts entre les fréquences observées sur une population naturelle et les résultats du modèle trouvent leur explication dans les processus réels mis en jeu notamment par les effets de forces évolutives (mutation, sélection, dérive, etc.).	Pour la transmission de deux allèles, dans le cadre du modèle de Hardy-Weinberg, établir les relations entre les probabilités des génotypes d'une génération et celles de la génération précédente. Produire un calcul sur tableur ou un programme en Python pour constater que les probabilités des génotypes sont constantes à partir de la seconde génération (modèle de Hardy-Weinberg). Exploiter des logiciels de simulation basés sur ce modèle mathématique. Analyser une situation d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg. ↔ Tableaux croisés. ↔ Probabilités conditionnelles. ↔ Suites et relations de récurrence.
Les activités humaines ont des conséquences sur la biodiversité et ses composantes, dont la variation d'abondance. L'approche « Une seule santé » consiste à relier la santé humaine, la santé animale et la santé des écosystèmes dans lesquels elles coexistent, ces trois composantes ne pouvant plus être dissociées. La fragmentation d'une population en plusieurs échantillons de plus faibles effectifs entraîne un appauvrissement de sa diversité génétique. La connaissance et la gestion d'un écosystème permettent d'y préserver une biodiversité.	Étudier un exemple montrant les effets d'une modification de l'écosystème, dont ses conséquences possibles en matière de santé. Justifier le concept « Une seule santé » qui met en relation la santé humaine, la santé animale et l'environnement. Utiliser un modèle géométrique simple (quadrillage) pour calculer l'incidence génétique d'une fragmentation sur la surface disponible pour une espèce. À partir d'un logiciel de simulation, montrer les effets d'un faible effectif de population sur l'évolution rapide des fréquences alléliques. Analyser des documents pour comprendre les mesures de protection de populations à faibles effectifs. Identifier des critères de gestion durable d'un écosystème.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : de l'échantillonnage naturaliste aux données en génomique.

Élaboration des listes des espèces à protéger à l'échelle internationale.

Les représentations de l'évolution : place de l'être humain.

Sciences, société et environnement

Le concept « Une seule santé » et les pandémies.

Espèces emblématiques et campagne de sensibilisation. Le déclin des abeilles.

La biodiversité sur et dans l'être humain : le microbiote.

Stratégies pour préserver la biodiversité ou l'augmenter dans l'enceinte d'un lycée.

3.2 — L'évolution comme grille de lecture du monde

Les concepts de biologie évolutive ont une large portée explicative, présentée ici à travers plusieurs exemples. Ils permettent de comprendre l'anatomie comme le résultat d'une longue histoire évolutive, faite d'adaptations, de hasard, de contingences et de compromis. Les concepts de variation et de sélection naturelle éclairent des pratiques humaines (médicales et agricoles) et certaines de leurs conséquences.

Savoirs	Savoir-faire
Les structures anatomiques présentent des particularités surprenantes d'un point de vue fonctionnel, pouvant paraître sans fonction avérée ou bien d'une étonnante complexité. Elles témoignent de l'évolution des espèces, dont la nôtre. Les caractères anatomiques peuvent être le résultat de la sélection naturelle, mais certains sont mieux expliqués par l'héritage de l'histoire évolutive que par leur fonction. L'évolution permet de comprendre des phénomènes biologiques ayant une importance médicale. L'évolution rapide des organismes microbiens nécessite d'adapter les stratégies prophylactiques, les vaccins et les antibiotiques. L'évolution des pratiques agricoles a un effet sur la biodiversité et son évolution.	Expliquer l'origine d'une structure anatomique en mobilisant les concepts de hasard, de variation, de sélection naturelle et d'adaptation. Mobiliser des concepts évolutionnistes pour expliquer l'évolution de populations d'êtres vivants.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Interpréter des caractéristiques anatomiques humaines en relation avec des contraintes historiques (comme le trajet de la crosse aortique), des contraintes de construction (comme le téton masculin), des compromis sélectifs (comme les difficultés obstétriques) ou des régressions en cours (comme les dents de sagesse).

Les stratégies actuelles pour faire face aux antibiorésistances.

Sciences, société et environnement

La domestication animale.

L'utilisation de produits phytosanitaires et le développement de ravageurs des cultures qui y sont résistants.

De la recherche agronomique aux pratiques agricoles durables.

Les variants viraux.

3.3 — L'évolution humaine

La paléoanthropologie construit un récit scientifique de nos origines à partir des archives fossiles. La phylogénie permet d'étudier les relations de parenté entre les espèces actuelles et les fossiles d'hominidés.

Savoirs	Savoir-faire
L'espèce humaine actuelle (*Homo sapiens*) fait partie du groupe des primates et est plus particulièrement apparentée aux grands singes, avec lesquels elle partage	Analyser des matrices de comparaison de caractères morpho-anatomiques résultant d'innovations évolutives afin d'établir des liens de parenté et de construire un

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**

des caractères morpho-anatomiques, des comportements et des similitudes génétiques. C'est avec le chimpanzé qu'elle partage le plus récent ancêtre commun.	arbre phylogénétique. Mettre en relation la ressemblance génétique entre les espèces de primates et leur degré de parenté.
Des arguments scientifiques issus de l'analyse comparée de fossiles permettent de reconstituer l'histoire de nos origines. L'étude de fossiles datés de 3 à 7 millions d'années montre des innovations caractéristiques de la lignée humaine (bipédie prolongée, forme de la mandibule). Cette lignée est buissonnante. Le genre *Homo* regroupe l'espèce humaine actuelle et des espèces fossiles qui se caractérisent notamment par le développement de la capacité crânienne. Plusieurs espèces humaines du genre *Homo* ont cohabité sur Terre. Certains caractères sont transmis de manière non génétique : microbiote, comportements appris, dont la langue, les habitudes alimentaires, l'utilisation d'outils, etc.	Positionner quelques espèces fossiles dans un arbre phylogénétique, à partir de l'étude de caractères. Discuter la notion de lignée humaine. Analyser des arguments scientifiques qui ont permis de préciser la parenté d'*Homo sapiens* avec les autres *Homo*, et notamment la parenté éventuelle avec les Néandertaliens ou les Dénisoviens.
Pistes de mise en œuvre du programme **Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration** Des découvertes successives en paléontologie humaine à la construction permanente du récit de nos origines. Histoire des sciences : vie et mort d'une théorie *(East Side Story)*. **Sciences, société et environnement** Évolution de la représentation sociétale de l'émergence du genre humain. Sciences et croyances face à l'évolution. Métissage des populations humaines et leurs conséquences au niveau immunitaire. Qu'est-ce que l'être humain ?	
3.4 — Les modèles démographiques Prédire l'évolution de l'effectif d'une population humaine et des ressources qui lui sont nécessaires est un enjeu majeur du développement durable. Pour prédire ces évolutions, les scientifiques utilisent des modèles mathématiques. La démarche de modélisation comporte notamment le choix d'un modèle et le contrôle de sa validité. La présentation de l'exemple historique de Malthus permet de mettre en œuvre cette démarche mathématique dans le cas discret.	
Savoirs	**Savoir-faire**
L'évolution d'une population dont la variation absolue par unité de temps est presque constante est représentée par un nuage de points évoquant une droite. Cette évolution peut être modélisée par une suite arithmétique (modèle dit linéaire). L'évolution d'une population dont la variation relative par unité de temps (encore appelée taux d'évolution) est presque constante est représentée par un nuage de points évoquant la courbe d'une exponentielle. Cette évolution peut être modélisée par une suite géométrique (modèle dit exponentiel). Le modèle démographique de Malthus est un modèle exponentiel d'évolution de l'effectif de la population. Il prévoit que l'effectif de la population décroît vers 0 si le taux de mortalité est supérieur au taux de natalité et croît vers l'infini si le taux de natalité est supérieur au taux de	À partir de données démographiques, calculer des variations absolues par unité de temps et des variations relatives par unité de temps d'une population afin de choisir entre un modèle linéaire et un modèle exponentiel. Selon le modèle de Malthus, prédire l'effectif d'une population au bout de n années à partir de son effectif initial, de son taux de natalité et de son taux de mortalité. À l'aide d'un tableur, d'une calculatrice ou d'une représentation graphique, calculer le temps de doublement d'une population sous l'hypothèse de croissance exponentielle. À partir de documents fournis, proposer un modèle de croissance de ressources alimentaires (par exemple, la production mondiale de blé ou de riz) et la comparer à une croissance exponentielle.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

mortalité. Si les prédictions du modèle de Malthus peuvent se révéler correctes sur un temps court, elles sont irréalistes sur un temps long, notamment en raison de l'insuffisance des ressources disponibles. Des modèles plus élaborés prévoient que la population mondiale atteindra environ 10 milliards d'humains en 2050.	À l'aide d'une calculatrice ou d'un tableur, ajuster un nuage de points par une courbe de tendance et utiliser ce modèle pour effectuer des prévisions. Comparer les valeurs fournies par un modèle à des données réelles afin de tester sa validité. ↔ Calculs usuels sur les suites arithmétiques et géométriques, représentations graphiques. ↔ Lectures graphiques. ↔ Résolution d'équations et d'inéquations.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : modèles démographiques (Malthus, Quetelet, Verhulst, Lotka-Volterra, Fibonacci).

Sciences, société et environnement

Le malthusianisme et le néomalthusianisme.

Modèles de propagation d'une épidémie au sein d'une population.

Évolution d'une population et automate cellulaire.

3.5 — De la machine de Turing à l'intelligence artificielle

L'être humain n'a cessé d'accroître sa capacité d'action sur le monde, utilisant son intelligence pour construire des outils et des machines. Dans le contexte du traitement automatique de l'information (informatique), il a élaboré un mode de pensée algorithmique susceptible d'être codé dans des langages permettant de commander des machines. Plus largement, le terme « intelligence artificielle » (IA) se définit comme un champ interdisciplinaire théorique et pratique qui a pour objet la compréhension de mécanismes de la cognition et de la réflexion, et leur imitation par un dispositif matériel et logiciel, à des fins d'assistance ou de substitution à des activités humaines : reconnaître et localiser des objets dans une image, conduire une voiture, traduire un texte, dialoguer, etc. Un champ de l'intelligence artificielle ayant récemment permis des applications spectaculaires est celui de l'apprentissage automatique.

Savoirs	Savoir-faire
Jusqu'au début du XX^{e} siècle, les machines traitant l'information étaient limitées à une ou à quelques tâches prédéterminées (tisser grâce à un ruban ou des cartes perforées, trier un jeu de cartes perforées, séparer des cartes selon un critère, sommer des valeurs indiquées sur ces cartes, etc.). Turing a été le premier à proposer le concept de machine universelle qui a été matérialisé dix ans plus tard avec les premiers ordinateurs. Ceux-ci sont constitués au minimum d'un processeur et d'une mémoire vive. Un ordinateur peut manipuler des données de natures diverses une fois qu'elles ont été numérisées : textes, images, sons. Les programmes sont également des données : ils peuvent être stockés, transportés et traités par des ordinateurs. En particulier, un programme écrit dans un langage de programmation de haut niveau (Python, Scratch, etc.) peut être traduit en instructions spécifiques à chaque type de processeur. Un programme peut comporter jusqu'à plusieurs centaines de millions de lignes de code, ce qui rend très probable la présence d'erreurs appelées bogues (ou bugs). Ces erreurs peuvent conduire un programme à avoir un comportement inattendu et entraîner des conséquences graves.	Analyser des documents historiques relatifs au traitement de l'information et à son automatisation. Recenser des outils numériques utilisés dans la vie courante, identifier ceux qui sont programmables, et par qui (ordinateur, thermostat d'ambiance, téléphone intelligent, boîte Internet, ordinateur de bord d'une voiture, etc.). Savoir distinguer les fichiers exécutables des autres fichiers sous un système d'exploitation donné. Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un fichier image, son, vidéo. Savoir calculer la taille en octets d'une page de texte (en ASCII et non compressé). Corriger un algorithme ou un programme bogué simple. ↔ Ordres de grandeur. ↔ Proportionnalité. ↔ Logique.
L'intelligence artificielle (IA) est née en 1956. À cette	Analyser des documents relatifs à une application de

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - education.gouv.fr

époque, elle visait à simuler sur ordinateur les facultés cognitives humaines et recouvrait des approches relevant de l'informatique, des mathématiques et des sciences cognitives. L'approche symbolique (systèmes experts) initiée à la fin des années 50 n'a pas tenu ses promesses. Aujourd'hui, on a tendance à attribuer le terme d'IA à l'un de ses sous-domaines, celui de l'apprentissage automatique (apprentissage machine). Il s'agit d'un processus par lequel un algorithme évalue et améliore ses propres performances, non pas sous l'intervention d'un humain chargé de programmer la machine, mais en répétant son exécution sur des jeux de données de natures variées (mesures de capteurs pour des prévisions, textes pour la traduction, sons pour la reconnaissance vocale, images pour la reconnaissance visuelle, etc.). L'apprentissage machine exploite des méthodes mathématiques qui, à partir du repérage de tendances (par exemple, des corrélations ou des similarités) sur de très grandes quantités de données (données massives), permettent de faire des prédictions ou de prendre des décisions sur d'autres données. La qualité et la représentativité des données fournies sont essentielles pour la qualité des résultats. En effet, l'un des risques de l'apprentissage automatique réside dans l'amplification des biais des données. Par ailleurs, une interprétation trop rapide des données et un amalgame entre corrélation et causalité peuvent aboutir à des résultats erronés.	l'intelligence artificielle. Utiliser une courbe de tendance (encore appelée courbe de régression) pour estimer une valeur inconnue à partir de données d'entraînement. Analyser un exemple d'utilisation de l'intelligence artificielle : identifier la source des données utilisées et les corrélations exploitées. Sur des exemples réels, reconnaître les possibles biais dans les données, les limites de la représentativité. Sur des exemples simples, montrer qu'une corrélation ne correspond pas toujours à une relation de causalité. Expliquer pourquoi certains usages de l'IA peuvent poser des problèmes éthiques. ↔ Calcul algébrique. ↔ Lectures graphiques.
L'inférence bayésienne est une méthode de calcul de probabilités de causes à partir des probabilités de leurs effets. Elle est utilisée en apprentissage automatique pour modéliser des relations au sein de systèmes complexes, notamment en vue de prononcer un diagnostic.	Dans le contexte d'un diagnostic médical fondé sur un test, produire un tableau de contingence afin de calculer des fréquences de faux positifs, faux négatifs, vrais positifs, vrais négatifs et en déduire le nombre de personnes malades suivant leur résultat au test. Utiliser cette démarche dans d'autres contextes de classification (reconnaissance d'images, détection de messages non sollicités envoyés en masse, etc.). ↔ Probabilités conditionnelles. ↔ Formule de Bayes.

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Histoire des sciences : de la machine de Turing aux dialogueurs.

Exemples d'apprentissage automatique : réseaux de neurones simples et principe de l'apprentissage par retour d'erreur, algorithme des *k* plus proches voisins et modification des prédictions selon les données initiales et le paramètre *k*.

Sciences, société et environnement

Apports de l'intelligence artificielle : santé (imagerie médicale, diagnostic), commerce électronique et marketing (recommandation de produits), finance (prévisions boursières), activités sociales (réseaux sociaux), traduction automatique, communications, transports (voitures intelligentes), sécurité, création de contenus par des modèles génératifs (ChatGPT), etc.

Points de vigilance : protection des données personnelles, propriété intellectuelle, responsabilité juridique, risques liés à l'IA générative dans le cadre des interactions entre l'être humain et la machine (interaction Homme-Machine), etc.

Le devenir de l'intelligence artificielle, entre les sciences et la fiction.

© Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - **education.gouv.fr**