

# 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.

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'explicitier 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

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 explicite 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

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
<p>Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'atmosphère primitive était composée de N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. Sa composition actuelle est d'environ 78 % de N<sub>2</sub> et 21 % de O<sub>2</sub>, avec des traces d'autres gaz (dont H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.</p> <p>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.</p>	<p>Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.</p> <p>Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression données à partir de la lecture de son diagramme d'état.</p> <p>Mettre en relation la production de dioxygène dans l'atmosphère avec des indices géologiques.</p> <p>Suivre l'évolution de la teneur atmosphérique en dioxygène au cours des temps géologiques et la relier à l'évolution de la biodiversité.</p> <p>Mettre en relation des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Ordres de grandeur. Puissances de 10.</p>

	↔ Pourcentages.
<p>Pistes de mise en œuvre du programme</p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>La présence d'eau dans les corps célestes du système solaire.</p> <p>Histoire des sciences : l'apparition de la vie sur Terre, expériences de Ruben et Kamen (1941).</p> <p>Esprit critique : l'expression « trou dans la couche d'ozone » est-elle scientifiquement robuste ?</p> <p>Élaboration de l'unité Dobson.</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>La diminution d'ozone stratosphérique, une origine purement anthropique ?</p> <p>« Le trou dans la couche d'ozone » : de sa découverte à des prises de décisions mondiales.</p> <p>La vie sans dioxygène.</p>	
<p><b>1.2 — La complexité du système climatique</b></p> <p>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.</p>	
<b>Savoirs</b>	<b>Savoir-faire</b>
<p>La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires, etc.).</p> <p>La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines).</p> <p>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.</p>	<p>Distinguer sur un document des données relevant du climat, d'une part, de la météorologie, d'autre part.</p> <p>Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques.</p> <p>Identifier des indices de variations climatiques passées (pollens, glaciers, etc.).</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Puissance de 10.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p>
<p>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<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et vapeur d'eau, principalement.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.).</p> <p>Analyser la variation au cours du temps de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> et la variation de la température moyenne.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Pourcentages.</p> <p>↔ Calculs de moyennes.</p> <p>↔ Variation absolue, variation relative.</p>

<p>L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs (rétroaction positive), dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ;</li> <li>- la décroissance de la surface couverte par les glaces et la diminution de l'albédo terrestre ;</li> <li>- le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère.</li> </ul> <p>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.</p> <p>Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles.</p> <p>L'océan joue également un rôle d'amortisseur en absorbant une partie du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines.</p> <p>À court terme, les organismes chlorophylliens constituent un puits de CO<sub>2</sub>, ce qui a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).</p>	<p>Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui agissent sur la dynamique du système climatique.</p> <p>Expliquer la différence d'incidence entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer.</p> <p>Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée.</p> <p>↔ Taux de variation.</p> <p>↔ Logique.</p> <p>↔ Géométrie : calculs d'aires et de volumes.</p>
<p><b>Pistes de mise en œuvre du programme</b></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Développement des données satellitaires et combinaison avec des mesures de terrain.</p> <p>Histoire des sciences : le développement des modèles climatiques des années 1970 à nos jours.</p> <p>Les bases physiques de la climatologie (prix Nobel 2021 pour Hasselmann et Manabe).</p> <p>Climato-scepticisme : débat scientifique ou biais de raisonnement et d'argumentation.</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>Émergence et propagation de maladies vectorielles à la suite des changements climatiques.</p> <p>Effet du réchauffement climatique sur les activités et productions agricoles.</p> <p>Lien entre phénomènes météorologiques extrêmes et réchauffement climatique.</p> <p>La petite ère glaciaire en Europe.</p> <p>Les territoires littoraux et le réchauffement climatique (pêche, montée des eaux, etc.).</p> <p>Changement climatique et incidence sur les populations : déplacement, taux de reproduction, survie, etc.</p>	
<p><b>1.3 — Le climat du futur</b></p> <p>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 XXI<sup>e</sup> siècle.</p>	
<p><b>Savoirs</b></p> <p>Les modèles climatiques s'appuient sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la mise en équation des mécanismes essentiels qui agissent sur le système Terre ;</li> <li>- des méthodes numériques de résolution.</li> </ul> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p><b>Savoir-faire</b></p> <p>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.</p> <p>↔ Lectures graphiques</p> <p>↔ Corrélation et causalité</p>
<p>L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et</p>	<p>Exploiter les résultats d'un modèle</p>

<p>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.</p> <p>Les modèles s’accordent à prévoir avec une forte probabilité d’occurrence :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- une augmentation de 1,5 à 5°C de la température moyenne avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle ;</li> <li>- une élévation du niveau moyen des océans entre le début et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle pouvant atteindre le mètre ;</li> <li>- des modifications des régimes de pluie et des événements météorologiques extrêmes ;</li> <li>- une acidification des océans ;</li> <li>- des incidences majeures sur les écosystèmes terrestres et marins.</li> </ul>	<p>climatique pour justifier que certaines corrélations sont explicables par des liens de cause à effet.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Corrélation et causalité.</p> <p>↔ Logique.</p>
---	---

#### 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<sub>2</sub> 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 XIX<sup>e</sup> 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.

Savoirs	Savoir-faire
<p>Les alternateurs électriques exploitent le phénomène d'induction électromagnétique découvert par Faraday puis théorisé par Maxwell au XIX<sup>e</sup> siècle.</p> <p>Ils réalisent une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique avec un rendement potentiellement proche de 1.</p> <p>Au début du XX<sup>e</sup> 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.</p> <p>L'exploitation technologique des matériaux semi-conducteurs, en particulier du silicium, en est une conséquence.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>Définir le rendement d'un alternateur et citer un phénomène susceptible de l'influencer.</p> <p>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.</p> <p>Argumenter autour de la mise en place d'une installation photovoltaïque domestique ou industrielle.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Grandeurs et mesures. Grandeurs quotients.</p>
<p><a href="#">Pistes de mise en œuvre du programme</a></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Histoire des sciences : l'essor de l'électromagnétisme au XIX<sup>e</sup> siècle.</p> <p>Histoire des sciences et des technologies : « La bataille des courants », le choix entre le courant continu et le courant alternatif.</p> <p>Histoire des sciences : Einstein et les quanta.</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>Incidence environnementale de l'exploitation du silicium pour la fabrication des panneaux solaires.</p> <p>Choix de la fréquence du courant alternatif du réseau électrique.</p> <p>Enjeux économiques des usages des matériaux semi-conducteurs.</p> <p>Interaction entre savoirs scientifiques et société : <i>La Fée Électricité</i> (Raoul Dufy) à l'Exposition universelle de 1937.</p>	
<p><b>2.2 — Conversion et transport de l'énergie électrique</b></p> <p>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.</p> <p>L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie son importance actuelle et future.</p>	
Savoirs	Savoir-faire
<p>Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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) ;</li> <li>- la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ;</li> <li>- la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).</li> </ul>	<p>Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.</p> <p>Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.</p> <p>↔ Grandeurs et mesures.</p> <p>↔ Grandeurs proportionnelles.</p> <p>↔ Grandeurs quotients.</p>
<p>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.).</p>	<p>Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.</p>

<p>Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur.</p> <p>L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée.</p> <p>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.</p> <p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- énergie chimique ;</li> <li>- énergie mécanique ;</li> <li>- énergie électromagnétique.</li> </ul>	<p>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.</p> <p>Comparer des dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (capacité et durée de stockage, incidence écologique, masses mises en jeu par kilowattheure).</p> <p>↔ Grandeurs quotients.</p> <p>↔ Calcul littéral.</p> <p>↔ Grandeurs et mesures.</p>
<p><a href="#">Pistes de mise en œuvre du programme</a></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Le développement des combustibles alternatifs à empreinte carbone réduite.</p> <p>Histoire des sciences et des techniques : les piles et les accumulateurs.</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>Les enjeux de l'utilisation de l'énergie nucléaire : de la fission à la fusion contrôlée.</p> <p>Les usages et le recyclage des accumulateurs électrochimiques.</p> <p>La régulation du réseau de transport d'électricité français et européen.</p>	
<p><b>2.3 — Énergie, choix de développement et futur climatique</b></p> <p>La consommation mondiale d'énergie, en forte augmentation, fait majoritairement appel aux combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique.</p> <p>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.</p> <p>Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en œuvre.</p> <p>La notion de risques étudiée au collège et en classe de seconde est convoquée.</p>	
<p><b>Savoirs</b></p> <p>L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominant.</p> <p>Leur consommation est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (radiatif solaire, géothermique et des marées).</p>	<p><b>Savoir-Faire</b></p> <p>Utiliser les différentes unités d'énergie (tonne équivalent pétrole (tep), kilowattheure (kWh), etc.).</p> <p>Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, locale, individuelle).</p> <p>Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, moteurs, centrale électrique, flux radiatif solaire, etc.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Puissances de 10, ordres de grandeur.</p> <p>↔ Conversion d'unités, proportionnalité.</p> <p>↔ Grandeurs quotients.</p>
<p>Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs</p>	<p>Analyser un schéma représentant le cycle</p>

<p>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<sub>2</sub> 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.</p>	<p>biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.</p> <p>Citer les ordres de grandeur des durées nécessaires aux transformations du carbone.</p>
<p>La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone, également des aérosols et d'autres substances (N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, suies, produits soufrés) qui affectent la qualité de l'air inhalé et la santé.</p>	<p>Ajuster l'équation d'une réaction chimique d'oxydation par le dioxygène.</p> <p>Comparer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles.</p> <p>Distinguer ozone stratosphérique et troposphérique.</p> <p>À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions.</p> <p>↔ Grandeurs et mesures.</p> <p>↔ Grandeurs quotients.</p>
<p>L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO<sub>2</sub> produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.</p>	<p>À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.</p>
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Les durées longues, liées à l'inertie de certains systèmes (infrastructures énergétiques, transports, production industrielle), sont à confronter à l'urgence de l'action.</p> <p>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.).</p>	<p>Discuter des incidences de l'augmentation du CO<sub>2</sub> sur le développement de la végétation.</p> <p>Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux.</p> <p>Analyser d'un point de vue global les incidences de choix énergétiques majeurs : exemple du nucléaire en France.</p> <p>Dans une étude de cas, analyser des choix énergétiques locaux selon les critères et les paramètres mentionnés.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Ordres de grandeur.</p>

## 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<sub>2</sub> 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 paléanthropologie 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

<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>terrain ou d'explorations scientifiques (historiques et/ou actuelles) pour estimer la biodiversité (richesse spécifique et/ou abondance relative de chaque taxon).</p> <p>Exploiter des résultats de métagénomique.</p> <p>Quantifier l'effectif d'une population ou d'un taxon plus vaste à partir de résultats d'échantillonnage.</p> <p>Estimer une abondance par la méthode de capture-marquage-recapture.</p> <p>À l'aide d'un tableur, simuler des séries de recaptures, les moyenner et visualiser la fluctuation due à l'expérience.</p> <p>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.</p> <p>↔ Proportions.</p> <p>↔ Fluctuation d'échantillonnage.</p> <p>↔ Intervalle de confiance.</p>
<p>La composition génétique des populations d'une espèce change de génération en génération.</p> <p>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.</p> <p>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.).</p>	<p>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.</p> <p>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).</p> <p>Exploiter des logiciels de simulation basés sur ce modèle mathématique.</p> <p>Analyser une situation d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg.</p> <p>↔ Tableaux croisés.</p> <p>↔ Probabilités conditionnelles.</p> <p>↔ Suites et relations de récurrence.</p>
<p>Les activités humaines ont des conséquences sur la biodiversité et ses composantes, dont la variation d'abondance.</p> <p>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.</p> <p>La fragmentation d'une population en plusieurs échantillons de plus faibles effectifs entraîne un appauvrissement de sa diversité génétique.</p> <p>La connaissance et la gestion d'un écosystème permettent d'y préserver une biodiversité.</p>	<p>Étudier un exemple montrant les effets d'une modification de l'écosystème, dont ses conséquences possibles en matière de santé.</p> <p>Justifier le concept « Une seule santé » qui met en relation la santé humaine, la santé animale et l'environnement.</p> <p>Utiliser un modèle géométrique simple (quadrillage) pour calculer l'incidence génétique d'une fragmentation sur la surface disponible pour une espèce.</p> <p>À partir d'un logiciel de simulation, montrer les effets d'un faible effectif de population sur l'évolution rapide des fréquences alléliques.</p> <p>Analyser des documents pour comprendre les mesures de protection de populations à faibles effectifs.</p> <p>Identifier des critères de gestion durable d'un écosystème.</p>

**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
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>L'évolution des pratiques agricoles a un effet sur la biodiversité et son évolution.</p>	<p>Expliquer l'origine d'une structure anatomique en mobilisant les concepts de hasard, de variation, de sélection naturelle et d'adaptation.</p> <p>Mobiliser des concepts évolutionnistes pour expliquer l'évolution de populations d'êtres vivants.</p>

**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 paléanthropologie 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
<p>L'espèce humaine actuelle (<i>Homo sapiens</i>) fait partie du groupe des primates et est plus particulièrement apparentée aux grands singes, avec lesquels elle partage</p>	<p>Analyser des matrices de comparaison de caractères morpho-anatomiques résultant d'innovations évolutives afin d'établir des liens de parenté et de construire un</p>

<p>des caractères morpho-anatomiques, des comportements et des similitudes génétiques.</p> <p>C'est avec le chimpanzé qu'elle partage le plus récent ancêtre commun.</p>	<p>arbre phylogénétique.</p> <p>Mettre en relation la ressemblance génétique entre les espèces de primates et leur degré de parenté.</p>
<p>Des arguments scientifiques issus de l'analyse comparée de fossiles permettent de reconstituer l'histoire de nos origines.</p> <p>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.</p> <p>Le genre <i>Homo</i> 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 <i>Homo</i> ont cohabité sur Terre.</p> <p>Certains caractères sont transmis de manière non génétique : microbiote, comportements appris, dont la langue, les habitudes alimentaires, l'utilisation d'outils, etc.</p>	<p>Positionner quelques espèces fossiles dans un arbre phylogénétique, à partir de l'étude de caractères.</p> <p>Discuter la notion de lignée humaine.</p> <p>Analyser des arguments scientifiques qui ont permis de préciser la parenté d'<i>Homo sapiens</i> avec les autres <i>Homo</i>, et notamment la parenté éventuelle avec les Néandertaliens ou les Denisoviens.</p>
<p><a href="#">Pistes de mise en œuvre du programme</a></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Des découvertes successives en paléontologie humaine à la construction permanente du récit de nos origines.</p> <p>Histoire des sciences : vie et mort d'une théorie (<i>East Side Story</i>).</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>Évolution de la représentation sociétale de l'émergence du genre humain.</p> <p>Sciences et croyances face à l'évolution.</p> <p>Métissage des populations humaines et leurs conséquences au niveau immunitaire.</p> <p>Qu'est-ce que l'être humain ?</p>	
<p><b>3.4 — Les modèles démographiques</b></p> <p>Prédire l'évolution de l'effectif d'une population humaine et des ressources qui lui sont nécessaires est un enjeu majeur du développement durable.</p> <p>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.</p>	
<p><b>Savoirs</b></p>	<p><b>Savoir-faire</b></p>
<p>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).</p> <p>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).</p> <p>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</p>	<p>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.</p> <p>Selon le modèle de Malthus, prédire l'effectif d'une population au bout de <math>n</math> années à partir de son effectif initial, de son taux de natalité et de son taux de mortalité.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

<p>mortalité.</p> <p>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.</p> <p>Des modèles plus élaborés prévoient que la population mondiale atteindra environ 10 milliards d'humains en 2050.</p>	<p>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.</p> <p>Comparer les valeurs fournies par un modèle à des données réelles afin de tester sa validité.</p> <p>↔ Calculs usuels sur les suites arithmétiques et géométriques, représentations graphiques.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Résolution d'équations et d'inéquations.</p>
<p><b>Pistes de mise en œuvre du programme</b></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Histoire des sciences : modèles démographiques (Malthus, Quetelet, Verhulst, Lotka-Volterra, Fibonacci).</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>Le malthusianisme et le néomalthusianisme.</p> <p>Modèles de propagation d'une épidémie au sein d'une population.</p> <p>Évolution d'une population et automate cellulaire.</p>	
<p><b>3.5 — De la machine de Turing à l'intelligence artificielle</b></p> <p>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.</p>	
<p><b>Savoirs</b></p> <p>Jusqu'au début du XX<sup>e</sup> 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p><b>Savoir-faire</b></p> <p>Analyser des documents historiques relatifs au traitement de l'information et à son automatisation.</p> <p>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.).</p> <p>Savoir distinguer les fichiers exécutable des autres fichiers sous un système d'exploitation donné.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un fichier image, son, vidéo.</p> <p>Savoir calculer la taille en octets d'une page de texte (en ASCII et non compressé).</p> <p>Corriger un algorithme ou un programme bogué simple.</p> <p>↔ Ordres de grandeur.</p> <p>↔ Proportionnalité.</p> <p>↔ Logique.</p>
<p>L'intelligence artificielle (IA) est née en 1956. À cette</p>	<p>Analyser des documents relatifs à une application de</p>

<p>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.).</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>l'intelligence artificielle.</p> <p>Utiliser une courbe de tendance (encore appelée courbe de régression) pour estimer une valeur inconnue à partir de données d'entraînement.</p> <p>Analyser un exemple d'utilisation de l'intelligence artificielle : identifier la source des données utilisées et les corrélations exploitées.</p> <p>Sur des exemples réels, reconnaître les possibles biais dans les données, les limites de la représentativité.</p> <p>Sur des exemples simples, montrer qu'une corrélation ne correspond pas toujours à une relation de causalité.</p> <p>Expliquer pourquoi certains usages de l'IA peuvent poser des problèmes éthiques.</p> <p>↔ Calcul algébrique.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p>
<p>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.</p>	<p>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.</p> <p>Utiliser cette démarche dans d'autres contextes de classification (reconnaissance d'images, détection de messages non sollicités envoyés en masse, etc.).</p> <p>↔ Probabilités conditionnelles.</p> <p>↔ Formule de Bayes.</p>
<p><b>Pistes de mise en œuvre du programme</b></p> <p><b>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</b></p> <p>Histoire des sciences : de la machine de Turing aux dialogueurs.</p> <p>Exemples d'apprentissage automatique : réseaux de neurones simples et principe de l'apprentissage par retour d'erreur, algorithme des <math>k</math> plus proches voisins et modification des prédictions selon les données initiales et le paramètre <math>k</math>.</p> <p><b>Sciences, société et environnement</b></p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Le devenir de l'intelligence artificielle, entre les sciences et la fiction.</p>	