

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

## 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 XXI<sup>e</sup> 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

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.

## Compétences travaillées

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
<b>Pratiquer des démarches scientifiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formuler et résoudre une question ou un problème scientifique.</li> <li>Concevoir et mettre en œuvre des stratégies de résolution.</li> <li>Observer, questionner, formuler une hypothèse, en déduire ses conséquences testables ou vérifiables, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser, argumenter.</li> <li>Interpréter des résultats et en tirer des conclusions.</li> <li>Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique.</li> <li>Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes.</li> <li>Disséquer la complexité apparente des phénomènes observables en éléments et principes fondamentaux.</li> <li>Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique.</li> </ul>
<b>Concevoir, créer, réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier et choisir des notions, des outils et des techniques, ou des modèles simples pour mettre en œuvre une démarche scientifique.</li> <li>Concevoir et mettre en œuvre un protocole.</li> </ul>
<b>Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apprendre à organiser son travail.</li> <li>Identifier et choisir les outils et les techniques pour garder trace de ses recherches (à l'oral et à l'écrit).</li> <li>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.</li> <li>Coopérer et collaborer dans le cadre de démarches de projet.</li> </ul>
<b>Pratiquer des langages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant.</li> <li>Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique.</li> <li>Utiliser des outils numériques.</li> <li>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.</li> <li>Utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données.</li> </ul>
<b>Adopter un comportement éthique et responsable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les impacts (bénéfiques et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles.</li> <li>Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement en prenant en compte des arguments scientifiques.</li> <li>Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé.</li> <li>Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain.</li> </ul>

## 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

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 répliquatives 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.

### 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.

## 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.



### 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).

### 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.

### 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, pétrologiques).

#### 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.).

### *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.

### 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 épaissement 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.

## 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).

### 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.

**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.



**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,  $\beta$ -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

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 (éviter 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 agricole 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.

### 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.

La réaction inflammatoire est essentielle. Elle traduit l'accumulation de molécules et de cellules immunitaires au lieu d'infection ou de lésion. Aiguë, 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 combinaisons 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).

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

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.