PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE EN CLASSE TERMINALE DE LA SÉRIE SCIENTIFIQUE

A. du 20-7-2001 . JO du 4-8-2001
NOR : MENE0101667A
RLR : 524-7
MEN - DESCO A4

Vu code de l'éducation, not. art. L. 311-1 à L. 311-3 et L. 311-5 ; D. n° 90-179 du 23-2-1990 ; A. du 18-3-1999 mod. ; avis du CNP du 26-6-2001 ; avis du CSE des 5 et 6-7- 2001 ;

Article 1 - Le programme de l'enseignement obligatoire et de spécialité des sciences de la vie et de la Terre en classe terminale de la série scientifique est déterminé par les dispositions annexées au présent arrêté.
Article 2 - Le directeur de l'enseignement scolaire est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 20 juillet 2001
Pour le ministre de l'éducation nationale,
et par délégation,
Le directeur de l'enseignement scolaire
Jean-Paul de GAUDEMAR

Le B.O.
N° 5
30 AOÛT
2001
HORS-SÉRIE

ANNEXE

PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE
CLASSE TERMINALE DE LA SÉRIE SCIENTIFIQUE

I - ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Notre planète, tant en ce qui concerne la géosphère que la biosphère présente deux propriétés d'apparence contradictoire : stabilité et variabilité. Cette contradiction se résout par la prise en compte de la dimension temporelle. L'un des objectifs du programme de la classe de terminale est de fournir un modèle dynamique de la Terre aux élèves ayant opté pour la filière scientifique. Ce modèle, pour être complet, prend en compte l'évolution au cours du temps du système global terrestre : enveloppes fluides (abordées en classe de seconde), enveloppes solides (définies en classe de première S) et êtres vivants.
Le monde vivant présente une unité structurale et fonctionnelle mais aussi une très grande diversité ; cette diversité lui permet de se maintenir globalement au cours du temps et de s'étendre dans l'espace. Ainsi,
– la stabilité de la biosphère s'accompagne de la variabilité des espèces (évolution) ;
– la stabilité de l'espèce s'accompagne de la variabilité des individus (procréation, génétique) ;
– la stabilité de l'individu s'accompagne de la variabilité de certains de ses constituants (par exemple le système immunitaire).
Comprendre l'évolution biologique et géologique de la planète requiert la capacité d'identifier des moments remarquables dans l'histoire de la Terre, de les ordonner, d'évaluer leur âge et de mesurer les durées qui les séparent.

I.1 Introduction : approche du temps en biologie et géologie (0,5 semaine)

L'objectif de cette partie est d'introduire le programme, de lui donner du sens, d'en faire percevoir le fil directeur et la logique. Il s'agit plus précisément de conduire les élèves à s'interroger sur les différentes échelles de temps utilisées pour comprendre l'évolution conjointe de la planète et de la biosphère. Cette introduction s'appuie sur la perception empirique du temps qu'ont les élèves. Elle ne constitue en aucun cas une liste de contenus ou de notions exigibles au baccalauréat. Toutefois, si une notion utilisée dans l'introduction est reprise dans une autre partie du programme, elle pourra alors faire l'objet de questions à l'examen, ces questions se cantonnant exclusivement aux contenus et respectant les limites de la partie du programme correspondante. Les indications ci-dessous ne sont que des propositions.

I.1.1 Questions essentielles pouvant servir d'entrée dans le programme

- Comment la planète actuelle (avec ses habitants) s'est-elle construite au cours du temps ? Son fonctionnement a-t-il toujours été conforme à l'actuel ou s'est-il modifié au cours du temps ?
- Quels sont les événements majeurs qui jalonnent cette histoire ? Quand se sont-ils produits? Comment peut-on les dater ? Comment peut-on apprécier leur durée ?
- Sur quel(s) critère(s), notamment temporel(s), peut-on définir la stabilité ou la variabilité d'un individu, d'une chaîne de montagne, d'une molécule, d'une espèce, d'un domaine océanique…?
- Quelles sont les durées caractéristiques d'existence d'un individu, d'une chaîne de montagne, d'une molécule, d'une espèce, d'un domaine océanique…?
- Les modifications de la planète et de ses habitants sont-elles continues ou discontinues ?

I.1.2 Méthodes et supports envisageables

- Repérer sur une frise du temps les grands événements déjà abordés au cours des classes précédentes en sciences de la vie et de la Terre.
- Par une recherche documentaire, faire construire une frise du temps en y plaçant les événements couramment évoqués

dans la presse de vulgarisation scientifique et faire naître le besoin d'une justification rigoureuse (ou d'une remise en cause) de cette présentation.
Parmi les événements clés intéressants, on peut citer sans les développer, les exemples suivants :
- La formation de la Terre et sa différenciation
- L'apparition de la vie
- L'apparition de l'atmosphère oxydante
- La mise en place de la tectonique des plaques
- L'apparition de la cellule eucaryote
- L'apparition de la première coquille (ou du premier squelette)
- L'apparition du premier vertébré
- L'apparition de la première plante ligneuse
- L'apparition du premier être vivant aérien
- L'apparition du premier Hominidé
- Par une recherche documentaire :
. faire classer les grands événements biologiques et géologiques selon leur durée,
. faire naître un questionnement sur le mode d'appréciation de la durée des phénomènes.
- Discuter sur un exemple de la continuité ou discontinuité d'un phénomène selon l'échelle de temps utilisée pour le décrire.
- Discuter sur un exemple de la stabilité ou de la variabilité d'un objet, d'un mécanisme, etc. en fonction de la durée de son observation.

Parmi les "objets" et "mécanismes" dont on peut apprécier la durée :
- La planète Terre
- Une chaîne de montagne
- Une période glaciaire
- Une espèce
- Un individu
- Une molécule
- Une cellule
- Une réaction métabolique
- Le renouvellement du carbone de la biomasse
- Une division cellulaire
Les technologies de l'information et de la communication pourront contribuer à l'enseignement de toutes les parties du programme, grâce aux possibilités d'acquisition et de traitement de données par ordinateur, de modélisation, de simulation et grâce aux ressources en ligne, notamment sur le réseau des sites institutionnels.

I.2 Parenté entre êtres vivants actuels et fossiles - Phylogenèse – Évolution (3 semaines)

A partir d'un réinvestissement de la classe de seconde (les plans d'organisation, l'unité des constituants cellulaires et génétiques, l'origine commune des espèces) on aborde la biodiversité et la recherche de la parenté entre espèces (phylogenèse). L'Homme, avec ses caractéristiques particulières, est situé au sein du règne animal. On montre ensuite que les êtres humains actuels appartiennent à une même espèce. On date l'émergence de cette espèce en la resituant dans l'histoire de la Terre.

(voir tableau page suivante)

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Remobilisation rapide des acquis de seconde et de première.	Les êtres vivants partagent des propriétés communes (structure cellulaire, ADN, modalités de la réplication et de l'expression des gènes, code génétique). Ces propriétés traduisent une origine commune. L'état actuel du monde vivant résulte de l'évolution. Toutes les espèces vivantes actuelles et toutes les espèces fossiles sont apparentées mais elles le sont plus ou moins étroitement.
Étude sommaire de stades embryonnaires de différents vertébrés. Utilisation de pièces anatomiques pour établir les relations de parenté entre les vertébrés. Utilisation de logiciels permettant des comparaisons moléculaires entre les vertébrés (hémoglobine, myoglobine). Utilisation de logiciels établissant des arbres phylogénétiques. Lecture et critique d'arbres phylogénétiques.	**La recherche de parenté chez les vertébrés - L'établissement de phylogénies** L'établissement de relations de parenté entre les vertébrés actuels s'effectue par comparaison de caractères homologues (embryonnaires, morphologiques, anatomiques et moléculaires). Les comparaisons macroscopiques prennent en compte l'état ancestral et l'état dérivé des caractères. Seul le partage d'états dérivés des caractères témoigne d'une étroite parenté. Ces relations de parenté contribuent à construire des arbres phylogénétiques. Les ancêtres communs représentés sur les arbres phylogénétiques sont hypothétiques, définis par l'ensemble des caractères dérivés partagés par des espèces qui leur sont postérieures ; ils ne correspondent pas à des espèces fossiles précises. Une espèce fossile ne peut être considérée comme la forme ancestrale à partir de laquelle se sont différenciées les espèces postérieures.
Comparaisons chromosomiques et moléculaires Chimpanzé-Homme ; Gorille-Homme.	**La lignée humaine – La place de l'Homme dans le règne animal** L'Homme est un eucaryote, un vertébré, un tétrapode, un amniote, un mammifère, un primate, un hominoïde, un hominidé, un homininé : ces caractères sont apparus successivement à différentes périodes de l'histoire de la vie. L'Homme partage un ancêtre commun récent avec le Chimpanzé et le Gorille. Cet ancêtre commun n'est ni un Chimpanzé (ou un Gorille) ni un homme. La divergence de la lignée des chimpanzés et de la lignée humaine peut être située il y a 7 à 10 millions d'années.
Comparaisons anatomiques entre l'Homme et le Chimpanzé : étude des caractéristiques anatomiques en relation avec la station bipède.	**Les critères d'appartenance à la lignée humaine** Les critères d'appartenance à la lignée humaine sont les caractères liés à la station bipède, au développement du volume crânien, à la régression de la face et aux traces fossiles d'une activité culturelle. On admet que tout fossile présentant au moins un de ces caractères dérivés appartient à la lignée humaine.
Travail sur documents (réels, moulages, photographies…) montrant des pièces anatomiques (boîtes crâniennes, bassins) : description, comparaison, classement.	**Le caractère buissonnant de la lignée humaine** La lignée humaine est représentée actuellement par une seule espèce. Plusieurs espèces d'homininés ont vécu entre 6 millions d'années et 100 000 ans, époque où apparaissent les *Homo sapiens*. Ces espèces appartiennent à deux genres : les Australopithèques et les Homo. Les Australopithèques possèdent des caractères dérivés de la lignée humaine en rapport avec la bipédie. Les espèces du genre Homo possèdent en outre des caractères dérivés crâniens marqués notamment par une augmentation du volume crânien et une réduction de la face. Les Australopithèques ont vécu entre 4 millions d'années *(Australopithecus anamensis)* et 1 million d'années *(A. robustus)*. Les Homo les plus anciens *(H. habilis)* sont datés de 2,5 millions d'années. Plusieurs espèces d'Homininés ont donc vécu en même temps. Les Australopithèques formeraient un rameau de la lignée humaine détaché assez tôt de celui des Homo. Les espèces fossiles actuellement datées entre 4 millions et 1,5 millions d'années sont toutes africaines. Cela peut s'expliquer par l'origine africaine de la lignée humaine ou par les conditions de fossilisation exceptionnelles de la vallée du rift africain. Les *Homo erectus* sont connus d'abord en Afrique (adolescent de Turkana : 1,6 million d'années) ; ils forment un groupe très diversifié dont l'évolution est marquée notamment par une augmentation graduelle du volume crânien. De nombreuses populations colonisent l'Afrique du Nord, l'Afrique du Sud, le Proche Orient, l'Asie et l'Europe. L'Homme de Néanderthal trouvé en Europe semble provenir de l'évolution d'*Homo erectus* ayant colonisé l'Europe. **L'origine des hommes modernes, Homo sapiens.** Toutes les populations humaines actuelles partagent les mêmes allèles, avec une fréquence variable. La population ancestrale n'aurait compté que quelques dizaines de milliers d'individus. *Homo sapiens* serait une nouvelle espèce apparue en Afrique ou au Proche Orient il y a 100 000 à 200 000 ans et aurait colonisé tous les continents en remplaçant *Homo erectus*.
Étude de la diversité de la répartition géographique des groupes sanguins.	*Limites : les arguments liés aux données sur l'ADN mitochondrial ne sont pas au programme.*

I.3 Stabilité et variabilité des génomes et évolution (6 semaines)

Cette partie du programme s'articule directement avec les acquis des classes de seconde et de première qu'elle complète (nature du matériel génétique et son expression, notion de mutant et de mutation, rôle de l'environnement dans l'élaboration du phénotype). Elle s'appuie sur des données récentes issues des études des génomes pour mettre en évidence deux des processus importants de leur évolution : formation de nouveaux allèles et formation de nouveaux gènes par mutation et duplication de gènes. Elle montre le rôle de la reproduction sexuée dans la stabilité du génome et dans sa variabilité.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Comparaison de séquences nucléotidiques et protéiques : comparaison de différents allèles d'un gène, comparaison des gènes d'une famille multigénique (hémoglobines et myoglobine, gènes homéotiques, etc.). Utilisation de logiciels de traduction pour étudier les conséquences des mutations sur les protéines.	**L'apport de l'étude des génomes : les innovations génétiques.** Au sein d'une espèce, le polymorphisme des séquences d'ADN résulte de l'accumulation de mutations au cours des générations. Suivant leur nature et leur localisation, les mutations (substitution, addition ou délétion d'un ou de plusieurs nucléotides) ont des conséquences phénotypiques variables. Au sein du génome d'une espèce, les similitudes entre gènes (familles de gènes) sont interprétées comme le résultat d'une ou plusieurs duplications d'un gène ancestral. La divergence des gènes d'une même famille s'expliquent par l'accumulation de mutations. Dans certains cas, ces processus peuvent conduire à l'acquisition de gènes correspondant à de nouvelles fonctions. Les innovations génétiques sont aléatoires et leur nature ne dépend pas des caractéristiques du milieu. *Limites :* *Les mécanismes à l'origine des mutations ou des duplications de gènes et l'étude des différents types d'ADN extragénique ne sont pas au programme.*
Étude de deux cycles biologiques : celui d'un mammifère et celui d'un champignon ascomycète. Comparaison de caryotypes de cellules haploïdes et diploïdes. Observations cytologiques d' événements de méiose et de fécondation. Interprétation de caryotypes présentant une trisomie libre du chromosome 21.	**Méiose et fécondation participent à la stabilité de l'espèce.** Chez les organismes présentant une reproduction sexuée, une phase haploïde et une phase diploïde alternent. La méiose assure le passage de la phase diploïde à la phase haploïde. Elle suit une phase de réplication de l'ADN et se compose de deux divisions cellulaires successives qui conduisent à la présence d'un lot haploïde de chromosomes par cellule fille. La fécondation rétablit la diploïdie en réunissant les lots haploïdes des gamètes d'une même espèce. Des perturbations dans la répartition des chromosomes lors de la formation des gamètes conduisent à des anomalies du nombre des chromosomes. *Limites :* *L'étude de l'ovogenèse et de la spermatogenèse n'est pas au programme.* *L'étude des cycles autres que ceux d'un mammifère et d'un champignon ascomycète n'est pas au programme.* *Les mécanismes cellulaires et moléculaires de la fécondation ne sont pas au programme.* *Les différentes étapes de la prophase de la première division de méiose ne sont pas au programme.*
Analyse de résultats de test-cross chez un organisme diploïde (cas d'un et de deux couples d'allèles). Réalisation, observation et analyse de préparations microscopiques d'asques (cas d'un couple d'allèles).	**Méiose et fécondation sont à l'origine du brassage génétique.** La variabilité allélique se manifeste au sein de l'espèce par une hétérozygotie à de nombreux locus. La variabilité génétique est accrue par la réunion au hasard des gamètes lors de la fécondation et par les brassages intrachromosomique et interchromosomique lors de la méiose. Le brassage intrachromosomique, ou recombinaison homologue par crossing-over, a lieu entre chromosomes homologues appariés lors de la prophase de la première division de méiose. Le brassage interchromosomique est dû à la migration indépendante des chromosomes homologues de chaque paire lors de l'anaphase de la première division de méiose. *Limites :* *Les mécanismes de crossing-over, les calculs de distance génique et les termes de post-réduction et de pré-réduction ne sont pas au programme.*
Étude de l'exemple du paludisme et de la fréquence de l'allèle βS de la globine ou du mélanisme de la phalène du bouleau. Comparaison de molécules homologues de différentes espèces, ayant les mêmes propriétés. Exemple : les hémoglobines de mammifères. Comparaison des caractères crâniens du fœtus de Chimpanzé et du fœtus humain. Acquisition plus tardive du caractère opposable du pouce chez le Chimpanzé que chez l'Homme. Comparaison de la durée du développement embryonnaire du système nerveux central de l'Homme et du Chimpanzé.	**Étude de trois exemples de relations entre mécanismes de l'évolution et génétique.** Les innovations génétiques peuvent être favorables, défavorables ou neutres pour la survie de l'espèce. - Parmi les innovations génétiques seules celles qui affectent les cellules germinales d'un individu peuvent avoir un impact évolutif. Les mutations qui confèrent un avantage sélectif aux individus qui en sont porteurs ont une probabilité plus grande de se répandre dans la population. - Des mutations génétiques peuvent se répandre dans la population sans conférer d'avantage sélectif particulier (mutations dites neutres). *Limites :* *Les mécanismes de la dérive génique ne sont pas au programme.* - Des mutations affectant les gènes de développement (notamment les gènes homéotiques) peuvent avoir des répercussions sur la chronologie et la durée relative de la mise en place des caractères morphologiques. De telles mutations peuvent avoir des conséquences importantes.

I.4 La mesure du temps dans l'histoire de la Terre et de la vie (2 semaines)

Si les outils de mesure des durées des phénomènes biologiques actuels sont relativement familiers des élèves, il n'en est pas de même de ceux qui permettent d'apprécier les événements *longs* (par rapport à l'échelle humaine) et *anciens* (par rapport à l'approche historique).
La mesure du temps au-delà des époques historiques se fait en interprétant des phénomènes géologiques et biologiques enregistrés dans les roches et les fossiles. Pour cela les géologues utilisent des outils de datation relative et absolue.
Selon son choix, le professeur peut consacrer un bloc de deux semaines à l'étude de ce chapitre ou le répartir sur une durée équivalente dans d'autres chapitres. Il est suggéré d'illustrer les méthodes de chronologie relative et absolue à partir d'exemples choisis dans les chapitres "convergence (subduction, collision)", "parenté entre êtres vivants actuels et fossiles - phylogenèse – évolution". Quelle que soit la solution pédagogique choisie, les objectifs cognitifs à atteindre sont ceux énoncés ci-dessous.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Datation relative d'événements à partir d'exemples et d'observations : - sur le terrain (superposition, discordance et déformation des couches) ; - sur des échantillons (fossiles, minéraux) ; - sur des coupes géologiques (discordances, intrusions) ; - sur des photographies et des images à diverses échelles (discordances).	**Datation relative** La datation relative permet d'ordonner les uns par rapport aux autres des structures (strates, plis, failles, minéraux) et des événements géologiques variés (discordance, sédimentation, intrusion, orogenèse). *Limites :* *Le détail des structures, leur inventaire exhaustif et les mécanismes de déformation ne sont pas au programme.* La datation relative repose sur les principes de la chronologie relative qui ont permis d'établir l'échelle stratigraphique des temps géologiques. Ces principes sont : - superposition, - continuité, - recoupement, - identité paléontologique. *Limites :* *L'utilisation de ces principes pour l'établissement de l'échelle stratigraphique internationale n'est pas au programme.* *La connaissance de l'échelle stratigraphique internationale des temps géologiques n'est pas au programme.* *La reconstitution de l'histoire géologique d'une région n'est pas au programme, on se limitera à l'étude de successions simples d'événements géologiques.*
Calcul de l'âge d'une couche à partir de résidus de bois carbonisés (traces de peuplement, coulées volcaniques récentes ayant brûlé une végétation). Utilisation de datations absolues K-Ar pour encadrer l'âge de gisements fossilifères d'hominidés dans les séries volcanosédimentaires du rift est-africain.	**Datation absolue** La chronologie absolue, en donnant accès à l'âge des roches et des fossiles, permet de mesurer les durées des phénomènes géologiques. Elle permet aussi de situer dans le temps l'échelle relative des temps géologiques. La chronologie absolue est fondée sur la décroissance radioactive de certains éléments chimiques : elle exploite la relation qui existe entre rapports isotopiques et durée écoulée depuis la " fermeture du système " contenant les isotopes. Les radio-chronomètres sont choisis en fonction de la période de temps que l'on cherche à explorer. Pour les derniers millénaires on utilise le carbone 14 (^{14}C) dont la quantité lors de la fermeture du système est connue. La mesure de la quantité de ^{14}C restante dans l'échantillon permet de trouver un âge. Lorsque tous les éléments radioactifs ont disparu de l'échantillon, la datation n'est plus possible. Pour des périodes plus anciennes on peut, par exemple, utiliser le couple potassium-argon (K-Ar). La quantité initiale lors de la fermeture du système est négligeable. La contamination par l'argon de l'atmosphère rend difficile la détection de l'argon issu de la désintégration du potassium avant que la roche ait atteint un certain âge. On utilise aussi le couple rubidium-strontium (Rb-Sr). Pour trouver l'âge d'une roche il est alors nécessaire de mesurer les rapports isotopiques de plusieurs minéraux de la même roche ayant cristallisé au même moment (les quantités initiales des éléments et le moment de la fermeture du système étant inconnus). *Limites :* *La signification des rapports isotopiques initiaux n'est pas au programme.*

Remarque : la datation absolue des objets naturels en sciences de la Terre est une illustration pratique du principe de la décroissance radioactive étudié en sciences physiques et de la fonction exponentielle étudiée en mathématiques : une coordination entre les enseignants des disciplines scientifiques pourra être développée à ce sujet.

I.5 La convergence lithosphérique et ses effets (4 semaines)

Les notions sur la structure du globe et la convection du manteau, les connaissances sur les plaques lithosphériques et leur cinématique, sur certains processus magmatiques ont été acquis en classe de première. Les principales caractéristiques de la convergence introduites en première sont réinvesties pour traiter les phénomènes liés à la convergence des plaques.
La convergence lithosphérique est caractérisée :
- par le rapprochement de repères fixés aux plaques,
- par une destruction de surface lithosphérique,
- par la formation de reliefs.

I.5.1 Convergence et subduction

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Analyse de documents (cartes, coupes, base de données sismiques, photographies) permettant de dégager les principales caractéristiques des marges actives actuelles : - fosse océanique, - chaîne de montagnes, - arc magmatique, - prisme d'accrétion, - bassin arrière-arc. *On exclura tout document relatif à la gravimétrie.*	**La convergence se traduit par la disparition de lithosphère océanique dans le manteau, ou subduction.** La lithosphère océanique s'enfonce sous la marge active d'une plaque comprenant une croûte continentale ou une croûte océanique. Les caractéristiques principales des zones de subduction sont : - La présence de reliefs particuliers (positifs et négatifs). - Une activité magmatique importante. - Une déformation lithosphérique importante. - Une répartition particulière des flux de chaleur. *Limites :* *Les caractéristiques gravimétriques des zones de subduction ne sont pas au programme.*
Construction de plan(s) de Wadati/Benioff à partir des profondeurs des foyers des séismes.	La distribution géométrique des séismes matérialise le plongement d'une portion rigide de lithosphère à l'intérieur du manteau plus chaud et ductile. *Limites :* *L'étude exhaustive de la diversité des structures et des fonctionnements des zones de subduction n'est pas au programme. On se limite à la distinction entre subduction sous une marge continentale et subduction intra-océanique.*
À partir des densités moyennes de la croûte océanique et du manteau lithosphérique, calcul de la densité moyenne de la lithosphère océanique en fonction de son épaisseur et de son âge. Comparaison avec la densité de l'asthénosphère.	L'évolution de la lithosphère océanique qui s'éloigne de la dorsale s'accompagne d'une augmentation de sa densité, jusqu'à dépasser la densité de l'asthénosphère : cette différence de densité est l'un des principaux moteurs de la subduction.
Etude (texture, composition) de roches magmatiques : volcaniques (andésite, rhyolite) et plutoniques (granitoïde).	**Les zones de subduction sont le siège d'une importante activité magmatique caractéristique : volcanisme, mise en place de granitoïdes.** *Limites :* *Les caractéristiques chimiques des séries magmatiques et la diversité des dynamismes éruptifs ne sont pas au programme.*
Observation des minéraux et des structures minérales témoignant de transformations minéralogiques dans les métabasaltes ou métagabbros de la croûte océanique subduite : minéraux typiques des zones de subduction (glaucophane, grenat, jadéite). Utilisation de grilles pétrogénétiques pour retrouver les conditions d'apparition de ces minéraux.	Le magma provient de la fusion partielle des péridotites au-dessus du plan de Bénioff, cette fusion est due à l'hydratation du manteau. L'eau provient de la déshydratation des roches de la plaque plongeante. Le long du plan de Bénioff, les roches de la lithosphère océanique sont soumises à des conditions de pression et de température différentes de celles de leur formation. Elles se transforment et se déshydratent. Des minéraux caractéristiques des zones de subduction apparaissent.

I.5.2. Convergence et collision continentale.

La collision résulte de la convergence de deux lithosphères continentales. Elle fait suite en général à une subduction et conduit à la formation d'une chaîne de montagnes. Ces phénomènes sont abordés à partir de quelques aspects de la géologie des Alpes franco-italiennes. En aucun cas il ne s'agit d'une étude exhaustive de la chaîne ou de sa formation.

(voir tableau page suivante)

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Reconnaissance et étude (terrain, coupes, photographies) des indices d'une subduction et d'une collision : - roches, structures minéralogiques portant les traces de la subduction ; - plis, failles et charriages : traces de la collision. Mise en évidence de l'épaississement à partir de l'analyse de profils sismiques levés au travers de chaînes de montagnes.	Dans les Alpes franco-italiennes affleurent des roches qui contiennent des témoins minéralogiques des conditions de pression et température d'une subduction. Il s'agit d'éléments d'une ancienne lithosphère océanique subduite et ramenée en surface (ophiolites). Dans les Alpes franco-italiennes affleurent des témoins de marges passives : sédiments, blocs basculés et de croûte océanique non subduite (ophiolites). Les marges passives sont déformées et témoignent de la collision continentale. La convergence est ici absorbée par la déformation des marges qui se raccourcissent et s'épaississent, conduisant à la formation d'une chaîne de montagnes. Les conséquences les plus visibles du raccourcissement et de l'épaississement de la croûte continentale sont : - une topographie particulière (des reliefs élevés associés à une racine crustale), - des plis, des failles et des charriages. *Limites :* *Les mécanismes de l'obduction ne sont pas au programme.* *Le détail des structures, leur inventaire exhaustif et les mécanismes de déformation ne sont pas au programme.* Après la collision, la chaîne de montagnes est le lieu d'une évolution tardive : érosion en surface, fusion partielle en profondeur. *Limites :* *Les processus d'évolution tardive des chaînes sont simplement évoqués ; ils ne sont pas au programme et ne feront pas l'objet d'une question au baccalauréat.* La fin de ce chapitre est l'occasion de dresser un rapide bilan de la dynamique de la lithosphère, de l'ouverture océanique à la naissance d'une chaîne de montagnes.

I.6 Procréation (6 semaines)

Les mécanismes cellulaires de la méiose et de la fécondation sont apparus au cours du temps en association avec des phénomènes physiologiques et comportementaux (reproduction sexuée et sexualité).
On aborde les problèmes en se plaçant dans la perspective d'une étude développementale : dans le prolongement de l'étude du génotype au phénotype du programme de première S, on envisage les mécanismes en jeu dans la réalisation du phénotype sexuel à partir du génotype.
Les notions étudiées en classe de première sur les caractéristiques d'un système de régulation à propos de la glycémie sont réinvesties pour l'étude d'une régulation plus complexe (trois niveaux de régulation : gonades, hypophyse, hypothalamus).
Cette étude permet d'aborder les notions de neurohormone sécrétée par l'hypothalamus, de rétroactions hormonales, de cycle menstruel, de puberté et de ménopause.
Les Hominidés se différencient des autres mammifères par une dissociation partielle entre sexualité et reproduction.
La connaissance des mécanismes régulateurs du cycle menstruel permet la maîtrise de la procréation qui par certains de ses développements pose des problèmes éthiques.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
	La reproduction sexuée (méiose, fécondation) apparaît dès les eucaryotes unicellulaires. Dans le groupe des vertébrés chez les mammifères placentaires, elle se caractérise par l'acquisition de la viviparité. *Limites :* *Seule la reproduction sexuée chez les mammifères placentaires est au programme.*
Dissection de l'appareil génital de la souris mâle et femelle. Exploitation de données concernant l'évolution des phénotypes sexuels mâle et femelle au cours du développement du fœtus.	**Du sexe génétique au sexe phénotypique.** Chez les mammifères les structures et la fonctionnalité des appareils sexuels mâle et femelle sont acquises en quatre étapes au cours du développement : - 1ère étape : stade phénotypique indifférencié. Mise en place d'un appareil génital indifférencié dont la structure est commune aux deux sexes (génétiquement XX et XY). - 2ème étape : du sexe génétique au sexe gonadique. . sur le chromosome Y, au cours du développement précoce, le gène Sry est activé et donne naissance à la protéine TDF, signal de développement des gonades en testicules : acquisition du sexe gonadique mâle. . sur le chromosome X, il n'y a pas de gène Sry. En absence de la protéine TDF les glandes deviennent des ovaires : acquisition du sexe gonadique femelle. - 3ème étape : du sexe gonadique au sexe phénotypique différencié. La mise en place du sexe phénotypique mâle se fait sous l'action des hormones testiculaires et de l'hormone antimullerienne. Celle du sexe phénotypique femelle s'effectue en absence de ces hormones. - 4ème étape : la puberté. L'acquisition de la fonctionnalité des appareils sexuels mâle et femelle et des caractères sexuels secondaires se fait sous le contrôle des hormones sexuelles (testostérone chez le mâle, œstrogènes chez la femelle).

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
	Régulation physiologique de l'axe gonadotrope : intervention de trois niveaux de contrôle • Chez l'homme Activité testiculaire.
Observations microscopiques de spermatozoïdes et de coupes de testicules de mammifère. Étude comparée des variations des concentrations plasmatiques de testostérone et de gonadostimulines.	Les testicules produisent des spermatozoïdes et de la testostérone de manière continue de la puberté jusqu'à la fin de la vie. L'homéostat de la testostéronémie est indispensable à la fonctionnalité de l'appareil sexuel mâle.
Établissement du schéma fonctionnel du système de régulation de la testostéronémie.	Contrôle par l'hypothalamus. La sécrétion de testostérone ainsi que la production de spermatozoïdes sont déterminées par la production continue des gonadostimulines hypophysaires -FSH et LH– induite par la sécrétion pulsatile de GnRH, neurohormone hypothalamique. La GnRH est sécrétée sous l'influence de stimulus d'origine interne ou externe. La testostéronémie est détectée en permanence par le complexe hypothalamo-hypophysaire. La testostérone exerce sur ce complexe une rétroaction négative : ainsi, la testostéronémie est constante.
Observation microscopiques de coupes d'utérus. Observation microscopiques de coupes d'ovaires.	• Chez la femme Le complexe hypothalamo-hypophysaire détermine et règle de façon cyclique, de la puberté à la ménopause, la sécrétion des hormones ovariennes, ce qui a pour conséquence le fonctionnement cyclique des organes cibles de ces hormones. Cette coordination aboutit à réunir les conditions optimales d'une fécondation et d'une nidation.
	Cycle utérin : modifications structurales et fonctionnelles permettant l'implantation de l'embryon.
Observation d'encéphales de mammifères permettant la localisation de la région hypothalamique et de l'hypophyse.	Cycle ovarien : l'évolution cyclique des follicules ovariens entraîne la sécrétion également cyclique des oestrogènes et de la progestérone. Les organes cibles de ces hormones, utérus en particulier, évoluent donc aussi de façon cyclique.
Analyses d'expériences relatives au rôle endocrine des ovaires et au contrôle exercé par le complexe hypothalamo-hypophysaire (vidéos, logiciels…). Études des courbes montrant le synchronisme des variations des concentrations plasmatiques d'hormones ovariennes et hypophysaires au cours du cycle menstruel.	Contrôle par l'hypothalamus : cette évolution est sous le contrôle de la sécrétion des gonado-stimulines hypophysaires --FSH et LH– elle-même permise par la sécrétion pulsatile de GnRH, neurohormone hypothalamique qui comme chez l'homme est sécrétée sous l'influence de stimulus d'origine interne ou externe. L'événement majeur du cycle est la libération brutale de LH, qui provoque l'ovulation. Le caractère cyclique de la sécrétion des gonadostimulines est lié à des rétroactions négatives et positives entre ovaire et complexe hypothalamo-hypophysaire (mise en jeu d'un servo-mécanisme).
	Rencontre des gamètes et début de grossesse
Observation d'électronographies de glaire cervicale. Utilisation de tests de grossesse.	La rencontre des gamètes est conditionnée au moins en partie par la qualité de la glaire cervicale. La fécondation a lieu dans le tiers supérieur des trompes et n'est possible que pendant une brève période après l'ovulation. Après fécondation et nidation, la sécrétion de l'hormone HCG par le tout jeune embryon permet la poursuite de l'activité du corps jaune et, par conséquent, la sécrétion de progestérone indispensable au maintien de la muqueuse utérine au début de la grossesse.
Exploitation de résultats de castrations, greffes, injections.	Aspect comportemental Il existe une relation directe entre comportement sexuel et sécrétion hormonale. Chez les mammifères non hominidés, l'acceptation du mâle par la femelle est déterminée par la sécrétion d'oestrogènes (oestrus). Chez le mâle, le comportement de rut est dépendant de la sécrétion de testostérone et des stimulus émis par la femelle. Dissociation entre hormones et comportement sexuel : l'Homme est capable de maîtriser sa procréation. Son comportement sexuel est partiellement dissocié de son activité hormonale.
Analyse de documents concernant des contraceptifs et des contragestifs oraux (RU 486) et la pilule du lendemain.	Maîtrise de la procréation. – Régulation des naissances La contraception hormonale féminine s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises sur la régulation hormonale de la physiologie sexuelle. La contraception hormonale masculine est encore à l'état de recherche. Le couple peut utiliser d'autres moyens contraceptifs pour empêcher la rencontre des gamètes ou l'implantation de l'embryon.
Analyse de documents concernant des procréations médicalement assistées. Analyse de textes relatifs aux problèmes éthiques liés aux progrès médicaux dans la maîtrise de la reproduction humaine.	– Aide médicalisée à la procréation *Le suivi de la grossesse* Pendant toute la grossesse la femme et son foetus sont médicalement surveillés grâce à différents moyens d'investigation (analyses sanguines, échographies et si des doutes apparaissent, amniocentèse ou choriocentèse pour dépister une anomalie grave du fœtus). Dans le cas de la détection d'une anomalie grave, diverses mesures sont mises en œuvre qui peuvent aller jusqu'à proposer une IVG thérapeutique. *Infertilité et procréation médicalement assistée :* Différentes techniques médicales peuvent apporter des solutions : insémination artificielle, FIVETE, ICSI.

I.7 Immunologie (4 semaines)

Les défenses immunitaires sont capables de distinguer les cellules et molécules d'un individu des éléments étrangers ou qui le sont devenus. Elles sont capables d'éliminer ces éléments étrangers à l'organisme.
Déjà étudiées en classe de 3ème, les réactions immunitaires innées font partie des connaissances des élèves et ne sont pas développées en dehors de leur action de coopération lors des phases effectrices des réactions immunitaires acquises. Leur importance est cependant rappelée.
Les réactions immunitaires acquises sont propres aux vertébrés, elles impliquent reconnaissance acquise et mémoire. Leur étude est abordée à partir d'un exemple, le SIDA, qui sert de support à des généralisations sur les aspects fondamentaux du fonctionnement du système immunitaire.
Les notions et contenus du programme ont été rédigés de manière exhaustive pour souligner leurs limites, dans la mesure où l'étude du virus de l'immunodéficience humaine (VIH) et du SIDA servent de support à l'étude de l'immunologie.
Cette partie, en prolongement de la première S, permet de réfléchir sur le phénotype (l'adaptabilité et la variabilité du système immunitaire) et sur son évolution au cours du temps, résultat de l'interaction entre le génotype et l'environnement. Cette variabilité du système immunitaire assure l'intégrité et donc la stabilité des organismes.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Étude de documents concernant le VIH et le SIDA.	**Une maladie qui touche le système immunitaire : le SIDA (syndrome d'immunodéficience acquise)** • Le VIH et la primo-infection Le VIH (virus de l'immunodéficience humaine) est transmis par voie sexuelle, par voie sanguine ou au cours de la grossesse de la mère à l'enfant. Le VIH appartient à la catégorie des rétrovirus (virus à ARN). Les cellules cibles du VIH sont principalement des cellules immunitaires : lymphocytes T4, monocytes et macrophages, ces dernières cellules (monocytes et macrophages) jouant un rôle de véritable réservoir, notamment dans les ganglions lymphatiques. Elles possèdent des protéines membranaires auxquelles le virus s'amarre par l'intermédiaire d'une protéine de son enveloppe (la plus importante de ces protéines membranaires étant CD4), ce qui lui permet de pénétrer dans la cellule hôte. *Limites :* *L'étude des protéines membranaires - ancrages du virus autres que le CD4- n'est pas au programme.* Une enzyme virale, la transcriptase inverse, transcrit l'ARN viral en ADN dans les cellules infectées. Cet ADN est intégré au génome de la cellule et s'exprime, permettant la reproduction du virus sous forme de particules virales infectieuses et leur dissémination notamment dans les organes lymphoïdes. *Limites : la nature, l'origine de l'enveloppe virale et les mécanismes d'entrée, de prolifération, de libération du virus ne sont pas au programme.* *Les tissus cibles du VIH autres que le système immunitaire ne sont pas au programme.* Pendant cette période, les symptômes se limitent le plus souvent à ceux d'une maladie virale bénigne.
Réalisation d'un test de type ELISA. Interprétation de données portant sur la caractérisation de protéines à l'aide de la technique du Western Blot.	• La phase asymptomatique - Deux semaines à quelques mois après la contamination, la présence dans le sang de différents anticorps anti-VIH est décelée, le sujet est dit alors " séropositif pour le VIH". - Apparaissent en même temps dans le sang du sujet contaminé des lymphocytes T cytotoxiques spécifiques dirigés contre les cellules infectées par le VIH. - Pendant cette période asymptomatique de plusieurs années, les défenses immunitaires restent actives mais les virus continuent à se multiplier et le nombre de lymphocytes T4 à diminuer.
Utilisation de banques de données permettant d'étudier les séquences d'acides aminés correspondant aux différentes parties des anticorps.	• Le sida : phase symptomatique En absence de traitement, le nombre des LT4 baisse. Le sida se caractérise alors par diverses maladies opportunistes.
Utilisation de logiciels de modélisation moléculaire montrant les anticorps et la réaction antigène-anticorps. Expériences montrant la formation d'un complexe antigène-anticorps : test d'Ouchterlony.	**Les processus immunitaires mis en jeu - Généralisation** Les anticorps : agents du maintien de l'intégrité du milieu extracellulaire : La séropositivité pour le VIH correspond à la présence d'anticorps spécifiques, dirigés contre certaines protéines du virus. La synthèse d'anticorps est la signature d'une réaction de l'organisme à la présence d'éléments étrangers. Les anticorps sont des effecteurs de l'immunité acquise. Ils agissent dans le milieu extracellulaire (ou milieu intérieur) en se liant spécifiquement aux antigènes qui ont déclenché leur formation. Les anticorps sont des immunoglobulines, protéines circulantes du milieu intérieur constituées d'une partie constante et d'une partie variable.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Observation des lymphocytes en microscopie photonique et électronique. Comparaison lymphocyte B et plasmocyte au microscope électronique.	La spécificité des anticorps est due à la partie variable. La liaison antigène – anticorps entraîne la formation de complexes immuns, favorisant l'intervention de mécanismes innés d'élimination de ces complexes. *Limites :* *Les mécanismes d'élimination sont limités à la phagocytose.* Les cellules phagocytaires (macrophages, polynucléaires), exprimant des récepteurs de la partie constante des anticorps, fixent par l'intermédiaire de ces récepteurs les complexes immuns et les éliminent par phagocytose. *Limites :* *La mise en jeu des protéines du complément est hors programme.* Les anticorps sont produits par des lymphocytes B sécréteurs ou plasmocytes. De très nombreux clones de lymphocytes B se distinguant par leurs anticorps membranaires qui servent de récepteurs pour l'antigène, préexistent avant tout contact avec celui-ci. La reconnaissance d'un antigène donné par un lymphocyte B porteur d'un récepteur spécifique de cet antigène entraîne la multiplication de ce lymphocyte et la formation d'un clone de lymphocytes B ayant la même spécificité. Les lymphocytes B obtenus se différencient en plasmocytes et en lymphocytes B mémoire. Dans la majorité des réactions immunitaires, cette multiplication est dépendante d'une autre population de lymphocytes, les lymphocytes T4 (voir 3). Les anticorps dirigés contre les protéines virales peuvent bloquer la pénétration des virus dans les cellules, mais ne peuvent pas agir sur les cellules déjà infectées.
Observation de lymphocytes T cytotoxiques en présence de cellules cibles.	Les lymphocytes T cytotoxiques (T8) : agents du maintien de l'intégrité des populations cellulaires Les lymphocytes T cytotoxiques sont aussi des effecteurs de l'immunité spécifique. Les cellules infectées expriment à leur surface des fragments peptidiques issus des protéines du pathogène, que n'expriment pas les cellules saines. Les lymphocytes T, par leurs récepteurs T spécifiques, reconnaissent les cellules infectées. Cette reconnaissance déclenche un mécanisme d'élimination des cellules infectées par ces lymphocytes T cytotoxiques. La production de lymphocytes T cytotoxiques spécifiques à partir de lymphocytes T pré-cytotoxiques repose sur des étapes (sélection, multiplication, différenciation, intervention des lymphocytes T4) voisines de celles conduisant à la production de lymphocytes B sécréteurs. *Limites :* *L'étude des étapes de sélection, multiplication, différenciation, intervention des lymphocytes T4 n'est pas au programme.* *En particulier, l'étude de la nature des récepteurs T et des mécanismes de présentation des peptides antigéniques par les cellules présentatrices de l'antigène n'est pas au programme.* *Le rôle du CMH est hors programme.* Dans le cas du SIDA, la destruction des lymphocytes T4 par les lymphocytes T cytotoxiques limite la progression de l'infection virale mais l'incorporation du génome viral dans les cellules infectées maintient la contamination. Les lymphocytes T4 : pivots des réactions immunitaires spécifiques A la suite de l'entrée d'un antigène dans l'organisme, des lymphocytes T4 spécifiques de cet antigène se différencient en lymphocytes T4 sécréteurs de messagers chimiques (interleukines). Les interleukines stimulent la multiplication et la différenciation des lymphocytes B et des lymphocytes T sélectionnés. *Limites :* *Les mécanismes et les modalités de l'activation des lymphocytes T4, en particulier la présentation de l'antigène par les cellules présentatrices ne sont pas au programme .* Dans le cas du SIDA, la disparition des lymphocytes T4 empêche la production d'anticorps et de lymphocytes T cytotoxiques contre des agents microbiens variés. Ceci permet l'apparition de maladies opportunistes. Les conséquences de l'effondrement des défenses immunitaires prouvent qu'en permanence les mécanismes immunitaires sont à l'œuvre et montrent le rôle essentiel des lymphocytes T4 dans la majorité de ces réactions.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Étude de documents concernant une vaccination antivirale.	**Les vaccins et la mémoire immunitaire** Les espoirs pour un vaccin anti-VIH. Des vaccins ont été mis au point contre différents virus. Ils reproduisent une situation naturelle, celle de l'immunité acquise contre ces virus après une première infection guérie. Le premier contact avec l'antigène entraîne une réaction lente et quantitativement peu importante, alors que le second contact entraîne une réaction beaucoup plus rapide et quantitativement plus importante. Cette mémoire immunitaire s'explique par la formation, après un premier contact avec un antigène, de lymphocytes B mémoire et de lymphocytes T4 mémoire. Ces cellules sont plus nombreuses que les lymphocytes B ou T4 vierges, de même spécificité ; elles ont une durée de vie plus longue et elles réagissent très rapidement lors d'un second contact avec l'antigène. Dans le cas du virus du SIDA, il s'agit de trouver un vaccin contre un virus qui n'est pas vaincu par les défenses immunitaires naturelles. Le virus du SIDA mutant constamment, une des difficultés de la mise au point d'un vaccin est d'identifier une protéine invariable et accessible à la surface du virus. *Limites :* *L'étude des différents types de vaccins n'est pas au programme.* Le phénotype immunitaire : interaction entre le génotype et l'environnement Le phénotype immunitaire, c'est-à-dire l'ensemble des spécificités des lymphocytes B et T à un moment donné de la vie d'un individu (ou "répertoire" des anticorps et des récepteurs des cellules T) résulte d'une interaction complexe entre le génotype et l'environnement. Grâce à des mécanismes génétiques originaux, l'organisme produit des lymphocytes T et B d'une infinie diversité. Parmi ces cellules, la très grande majorité, notamment celles qui sont potentiellement dangereuses pour l'organisme ("auto-réactives"), sont éliminées. Celles qui subsistent sont sélectionnées par les antigènes des cellules malades ou des pathogènes présents. Ces cellules sont à l'origine des clones actifs dans la défense immunitaire. Il en résulte un phénotype qui change sans cesse en s'adaptant à l'environnement (variabilité). La vaccination est un processus artificiel qui fait évoluer ce phénotype immunitaire. *Limites :* *Les causes de diversité et de formation des clones de lymphocytes B et T ne sont pas au programme.* *Les mécanismes de la délétion de clones autoréactifs ne sont pas au programme.*

I.8 Couplage des événements biologiques et géologiques au cours du temps (1,5 semaine)

L'aspect continu ou discontinu des processus biologiques et géologiques dépend de l'échelle de temps à laquelle on les observe. Ainsi, l'espèce humaine observée à l'échelle de la durée de vie de ses individus est stable, alors que l'étude de la lignée humaine introduit l'existence de discontinuités. De même une série sédimentaire, sans lacune, est un enregistrement continu du temps écoulé entre la base et le sommet du dépôt. Elle est pourtant formée d'un empilement de couches successives séparées par des discontinuités traduisant des changements environnementaux, chaque couche pouvant représenter une durée différente indépendante de son épaisseur.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Repérage des crises en analysant des indices sédimentologiques et paléontologiques dans des colonnes stratigraphiques .	À l'échelle des temps géologiques, des modifications brutales et globales liées à des événements planétaires affectent le monde vivant : ce sont les crises. Elles alternent avec des périodes plus longues de relative stabilité.
Exemple de l'extinction des dinosaures, des ammonites et de la majorité des foraminifères planctoniques.	**La limite Crétacé-Tertiaire : un événement géologique et biologique majeur** La limite Crétacé-Tertaire (il y a 65 millions d'années) est caractérisée par l'extinction massive et rapide d'espèces et de groupes systématiques des milieux continentaux et océaniques. Certains groupes survivent à la crise, ils se diversifient rapidement en occupant toutes les niches écologiques. L'origine de ces événements pourrait être la conjonction de deux phénomènes géologiques. Le premier est lié à la dynamique de la planète et correspond notamment aux conséquences de la mise en place des trapps du Deccan ; le second est associé à la chute d'un astéroïde dont le cratère de Chixulub est la trace.
Analyse de documents relatant les conséquences à plus ou moins long terme du comportement humain sur la préservation ou la destruction de l'environnement.	**Les crises biologiques, repères dans l'histoire de la Terre.** Au cours de l'histoire de la Terre, les phénomènes comme la crise Crétacé-Tertiaire ont un caractère exceptionnel. Ils ont une influence majeure sur l'évolution de la biosphère. Durant les 500 derniers millions d'années sont survenues plusieurs crises majeures pour lesquelles des extinctions biologiques massives sont corrélées à : - des phénomènes géologiques internes (tectonique des plaques, panaches mantelliques et volcanisme associé) ; - des phénomènes d'origine extraterrestre (chute d'astéroïdes). Produit récent de l'évolution biologique, l'Homme a les moyens d'avoir une influence sur l'avenir de la planète. Changements géologiques et modifications de la biosphère sont interdépendants.

II - ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Thème 1 - Du passé géologique à l'évolution future de la planète (7 semaines)

Les notions de géologie acquises de la classe de seconde à celle de terminale permettent de comprendre le fonctionnement général de la planète, de ses enveloppes externes à ses domaines les plus internes. L'enseignement de spécialité précise quelques aspects de ce fonctionnement, à différentes échelles spatiales et temporelles. Il est l'occasion de montrer que l'étude des évolutions passées de la planète, fondée sur une démarche raisonnée intégrant des observations géologiques variées et des mécanismes physiques et chimiques simples, procure des éléments de réflexion et des modèles pour appréhender l'évolution future de la planète. La prévision des climats du futur est un enjeu à la fois de recherche scientifique et de société.
Deux problématiques partiellement interdépendantes sont traitées dans l'enseignement de spécialité et sont abordées en faisant appel à plusieurs disciplines des sciences de la Terre. Cette partie du programme démontre comment l'observation, l'interprétation et la modélisation de phénomènes passés sont utilisés pour proposer des scénarios de l'évolution future de la Terre. Les deux problématiques choisies sont :
- les variations du climat ;
- les variations du niveau moyen des mers.
Ces deux exemples mettent en avant les relations qui existent entre le fonctionnement des enveloppes externes et internes de la Terre et les interactions de la Terre avec le reste du système solaire.

1 - Les climats passés de la planète (5 semaines)

Les changements du climat de la planète s'étudient à différentes échelles de temps. Les variations climatiques sont enregistrées dans les roches sédimentaires et les accumulations de glace aux pôles. La nature chimique des sédiments, leurs contenus fossilifères et leurs conditions de dépôt, ainsi que la composition isotopique des glaces, sont des marqueurs des conditions climatiques. Les bulles de gaz emprisonnées dans les accumulations de glaces des calottes polaires sont des témoins de la composition chimique moyenne de l'atmosphère et de son contenu en gaz à effet de serre. La composition de l'atmosphère plus ancienne, en particulier en dioxyde de carbone (CO_2), s'obtient par des données très indirectes.
Plus on recule dans le temps plus les enregistrements géologiques perdent de leur résolution temporelle. Les variations climatiques sont étudiées à deux échelles de temps :
- le dernier million d'années où la continuité des enregistrements géologiques permet d'observer des variations climatiques avec une haute résolution temporelle de l'ordre de 1000 ans.
- le milliard d'années où les enregistrement géologiques permettent d'identifier les changements climatiques avec une résolution de quelques millions d'années.

(voir tableau page suivante)

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
	Les changements du climat des 700 000 dernières années Les carottes de glace forées dans les calottes polaires et les carottes sédimentaires des fonds océaniques ou lacustres permettent de reconstituer les variations climatiques des 700 000 dernières années.
Mise en évidence de la globalité et de la périodicité des changements climatiques du quaternaire récent, par l'étude comparée de la composition des bulles de gaz et de la composition isotopique des glaces dans les carottes de glace arctiques et antarctiques. Comparaison avec les enregistrements dans les sédiments océaniques.	Les variations locales de la température au dessus des calottes polaires sont déduites de la composition isotopique de l'oxygène ($^{18}O/^{16}O$) de la glace. Ces variations de température sont corrélées à des variations de concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En dehors des pôles, les variations climatiques locales sont déduites de l'étude de carottes sédimentaires de lacs ou de tourbières. Les variations globales du volume des calottes glaciaires et des glaciers, représentatives des changements climatiques à l'échelle de la planète, sont déduites de la composition isotopique de l'oxygène ($^{18}O/^{16}O$) des tests carbonatés dans les sédiments océaniques. *Limites :* *Les mécanismes de fractionnement isotopique de l'oxygène ne sont pas au programme.*
Mise en parallèle des variations climatiques terrestres avec les variations de l'énergie solaire reçue par la Terre au cours du temps.	Les variations climatiques montrent des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires. Un cycle de 100 000 ans rythme les glaciations. Des cycles de réchauffement-refroidissement sont observés entre deux maximum glaciaires avec des périodes de 43 000, 24 000 et 19 000 ans. Bilan explicatif : ces périodicités s'expliquent par les variations régulières des paramètres orbitaux de la Terre. Ces paramètres déterminent la répartition et les variations au cours du temps de l'énergie solaire reçue aux différentes latitudes (cf. programme de la classe de seconde).
Mise en évidence de la variabilité climatique du quaternaire récent dans les sédiments continentaux des lacs et tourbières : sédimentologie et analyse des pollens dans des séries sédimentaires actuelles et passées.	Cependant, les seules variations de l'ensoleillement n'expliquent pas l'amplitude observée des variations de températures. D'autres phénomènes interdépendants modulent l'effet astronomique. Parmi ces phénomènes, on étudie à titre d'exemple deux d'entre eux : - les variations de l'albédo de la planète L'albédo est l'un des facteurs qui contrôle la température de surface de la Terre. Il est fonction entre autres du couvert végétal et de l'extension des calottes polaires qui eux-mêmes dépendent de la température. - les variations de la teneur en CO_2 atmosphérique Le CO_2 participe à l'effet de serre de la planète. Sa concentration dans l'atmosphère est en équilibre avec celle de l'océan. Lorsque la température augmente, la solubilité de CO_2 dans l'océan diminue, l'équilibre précédent est déplacé : du CO_2 passe de l'océan dans l'atmosphère ce qui induit une augmentation de l'effet de serre. *Limites : les interactions entre les différents phénomènes qui modulent l'effet astronomique ne sont pas au programme.* *L'étude des paramètres orbitaux de la Terre n'est pas au programme.*
Etude de données et documents géologiques attestant des glaciations précambriennes et paléozoïques. Replacer ces traces glaciaires en fonctions de la position des continents au cours du temps.	**Les changements climatiques aux plus grandes échelles de temps** Les variations à courtes échelles de temps vues précédemment se superposent à des variations à beaucoup plus grande échelle de temps. On retrouve ainsi dans les roches : - des traces de périodes glaciaires ; - des traces de périodes chaudes ; - des traces de changements brusques du climat. *Limites : L'étude des mécanismes à l'origine des traces de changements climatiques n'est pas au programme.*
Etude des processus d'altération des roches : utilisation d'analyses chimiques et minéralogiques de roches saines et altérées, d'analyses chimiques d'eau des rivières et d'eau de mer.	Les mécanismes des variations climatiques aux grandes échelles de temps impliquent des variations importantes dans la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère (maximum du CO_2 au Crétacé, minimum au Carbonifère par exemple). Ces variations sont contrôlées en particulier par les processus suivants qui libèrent ou consomment du CO_2 : - l'altération des silicates calciques et magnésiens de reliefs orogéniques consomme du CO_2 ; - la précipitation des carbonates libère du CO_2 et la dissolution des carbonates consomme du CO_2 ; - le piégeage de la matière organique dans les roches stocke du CO_2 ; - le dégazage du manteau par le volcanisme libère du CO_2 dans l'océan et dans l'atmosphère. *Limites :* *L'étude des processus de maturation et de conservation des roches carbonées ainsi que l'étude du dégazage du manteau ne sont pas au programme.* **Bilan : Envisager les climats du futur.** L'identification des paramètres qui contrôlent le climat de la Terre est essentielle pour construire des modèles climatiques. Les scénarios d'évolution de la température moyenne de la Terre qui, outre la variabilité naturelle du climat, prennent en compte l'impact de l'activité humaine, prévoient un réchauffement de l'ordre de 2 à 5 °C au cours du XXIe siècle. Ce réchauffement à l'échelle du siècle se superpose à un refroidissement constant de plus grande ampleur commencé il y a 20 millions d'années.

2 - Les variations du niveau de la mer (2 semaines)

Les variations du niveau de la mer sont d'amplitude variable au cours de l'histoire de la Terre. Elles trouvent leur origine dans les changements climatiques mais aussi dans les phénomènes tectoniques et dans l'activité plus ou moins intense du manteau terrestre.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	CONTENUS
Mise en évidence des variations du niveau de la mer à deux échelles de temps : - les variations liées aux glaciations du quaternaire par l'analyse de récifs fossiles, de traces de lignes de rivage ou d'activité humaine (ex: grotte Cosquer). - les variations liées aux phénomènes de transgression et de régression du Crétacé supérieur par l'analyse de documents (cartes, vidéos, photographies, échantillons). Études à partir de divers documents (cartes, photographies, échantillons) des phénomènes de transgression et de régression. Mise en évidence sur la carte géologique du monde et de la France de l'importance mondiale de la transgression du Crétacé supérieur. Mise en évidence des paramètres de variation du niveau de la mer : - variations de volume de l'eau de mer en fonction de la température ; - variations de la quantité de glace présente sur les terres émergées ; - variations de la profondeur moyenne du fond des océans. Réalisation d'un bilan quantitatif.	**Mise en évidence des variations du niveau de la mer au cours des temps géologiques** Les variations du niveau de la mer modifient la surface des terres émergées. Les roches sédimentaires par leur nature et leur extension enregistrent les variations relatives du niveau de la mer. Ces variations se manifestent notamment par des transgressions et des régressions sur les continents. **Les causes des variations mondiales du niveau de la mer** Les variations relatives du niveau de la mer à l'échelle mondiale sont contrôlées par le volume d'eau dans les bassins océaniques. On considère que pendant les 200 derniers millions d'années le volume d'eau sous forme de glace, de liquide et de vapeur est constant Les principales causes des variations du niveau de la mer sont : - la dilatation thermique de l'eau (de 10 à 20 cm par siècle) ; - la formation et la destruction des calottes polaires (de l'ordre de la centaine de mètres en 10 000 à 100 000 ans) ; - le volume des bassins océaniques (dont la variation peut aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres en une dizaine de millions d'années).

Thème 2 - Des débuts de la génétique aux enjeux actuels des biotechnologies (10 semaines)

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Réalisation d'une dissection florale en relation avec la technique expérimentale de Mendel. Observation d'un fruit et d'une graine. Analyse d'expériences relatives au monohybridisme et au dihybridisme dans la perspective des travaux de Mendel.	**Les débuts de la génétique : les travaux de Mendel (1870)** Les travaux de Mendel reposent sur une analyse quantitative d'expériences d'hybridation chez les plantes. Novateurs dans leur méthodologie, ces travaux visaient à obtenir des hybrides stables. Dans un contexte scientifique où les gènes n'étaient pas connus, ils ont apporté une rupture conceptuelle : - réfutation de la notion d'hérédité par mélange, - introduction du concept d'hérédité particulaire avec ségrégation indépendante des facteurs héréditaires. La compréhension des travaux de Mendel repose sur la connaissance des principes de la reproduction sexuée des végétaux. *Limites :* *Les notions de gamétophytes mâle et femelle et de double fécondation ne sont pas au programme.*
Constat du parallélisme entre le comportement des chromosomes et celui des facteurs héréditaires. Étude de résultats de croisements chez la drosophile dans le cas de l'hérédité liée au sexe et interprétation des résultats dans le cadre de la théorie chromosomique. Réflexions sur la valeur heuristique d'une théorie scientifique. Localisation de trois gènes sur un chromosome à partir de données expérimentales.	**La théorie chromosomique de l'hérédité** La redécouverte des lois de Mendel et les découvertes dans le domaine de la cytologie à la fin du XIXe siècle conduisent à l'émission de la théorie chromosomique de l'hérédité (1903) par deux cytologistes et à l'invention du mot gène. Les travaux de l'équipe de Morgan sur la drosophile entre 1910 et 1920 corroborent la théorie chromosomique à partir de données expérimentales. Cette théorie, qui contient les notions d'hérédité liée au sexe, de liaison génique et de recombinaison, permet d'expliquer certains cas particuliers qui échappent aux lois de Mendel. Cette théorie a permis d'établir en 1920 les premières cartes génétiques et la notion de gène (unité de fonction, de recombinaison, de mutation).
	L'avènement de la biologie moléculaire : une nouvelle rupture La nature chimique du gène (ADN – double hélice), la relation gène - protéine, les modalités de l'expression génétique, notions déjà étudiées dans les programmes de seconde et de première, doivent être replacées dans une perspective historique. Elles ne sont pas au programme en tant que telles.
Digestion de l'ADN par des enzymes de restriction et électrophorèse.	**La révolution technologique du début des années 70** L'utilisation des enzymes de restriction ouvre la voie du clonage des gènes et de leur séquençage. En contribuant à une évolution importante du concept de gène et de la perception du polymorphisme, elle fait entrer la génétique dans l'ère des biotechnologies.
Étude d' exemples d'organismes génétiquement modifiés pour la résistance aux insectes et la production de molécules pharmacologiques. Dans un texte ou une étude expérimentale, repérer les problèmes soulevés par les OGM et argumenter scientifiquement.	**Les enjeux actuels des biotechnologies** La transgénèse et la construction d'organismes génétiquement modifiés (OGM) La capacité d'introduire dans un organisme un gène (modifié ou étranger) conduit à la production d'un organisme transgénique acquérant des propriétés nouvelles.
Observation de caryotypes anormaux. Évaluation du risque génétique dans le cas de la trisomie 21 à partir de données statistiques (âge de la mère, mesure de facteurs sériques). Étude de documents sur la thérapie génique somatique.	Les biotechnologies et la génétique humaine - Dépistage et diagnostic génétique Les acquis de la génétique peuvent être mis en œuvre à différents niveaux pour identifier une pathologie d'origine génétique, en évaluer les risques, en prévenir les effets : . dépistage et diagnostic d'une maladie génique (arbres généalogiques) ; . dépistage et signes diagnostiques de la trisomie 21. - Un enjeu pour l'avenir : la thérapie génique somatique. On peut pallier la déficience d'un gène par une thérapie génique somatique .

Thème 3 - Diversité et complémentarité des métabolismes (10 semaines)

Autotrophie et hétérotrophie ont été identifiées en classe de seconde comme deux types majeurs de métabolismes chez les êtres vivants. Cette partie du programme de spécialité de la classe de terminale S donne l'occasion d'étudier le métabolisme à l'échelle de l'organisme et de la cellule. Elle conduit à une meilleure compréhension des phénomènes à l'origine de la synthèse des constituants moléculaires des cellules. La phase photochimique de la photosynthèse et la respiration mitochondriale sont des processus contribuant au renouvellement de molécules comme l'ATP utilisées lors des synthèses et activités cellulaires (transports, mouvements). L'étude de ces fonctions donne aussi l'occasion de compléter la construction du bilan structural et fonctionnel de la cellule en tenant compte des acquis des années précédentes, et d'aborder l'origine d'organites tels que mitochondries et chloroplastes.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
	Du carbone minéral aux composants du vivant : la photo-autotrophie pour le carbone
Observation ou documentation sur la structure d'un exemple d'écosystème, les différents êtres vivants qui constituent sa biocénose et les relations trophiques qui existent entre eux.	Dans les écosystèmes des relations trophiques s'établissent entre les producteurs primaires autotrophes et les divers producteurs secondaires hétérotrophes.
Étude d'une coupe de feuille. Localisation du parenchyme chlorophyllien et des stomates. Étude en microscopie optique de chloroplastes. Étude d'électronographies de chloroplastes. Mise en évidence d'une production de matière organique et d'O_2 à la lumière en présence de CO_2 par des végétaux chlorophylliens.	Les producteurs primaires de la planète utilisent le carbone du CO_2 atmosphérique pour constituer les chaînes carbonées, bases des composants du vivant. Le carbone se trouve à l'état oxydé dans l'atmosphère et à l'état réduit dans la matière constitutive des organismes vivants. Chez les végétaux supérieurs, le CO_2 de l'air pénètre dans les feuilles par les stomates et atteint les chloroplastes des cellules chlorophylliennes, lieu de la réduction photo synthétique du CO_2.
Séparation de pigments photosynthétiques par chromatographie. Étude des spectres d'absorption de pigments chlorophylliens. Comparaison du spectre d'action et du spectre d'absorption pour un végétal. Étude par ExAO des conditions du dégagement d'oxygène avec des cellules ou des chloroplastes isolés.	Le bilan des transformations (= ensemble de réactions biochimiques catalysées par des enzymes) peut s'écrire : $6\,CO_2 + 12\,H_2{}^*O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,{}^*O_2 + 6\,H_2O$ La photosynthèse est la succession de deux phases : - dans les thylakoïdes, une phase photochimique dans laquelle grâce à la collecte des photons par les pigments, un ensemble d'oxydo-réductions permet l'oxydation de l'eau, la production d'O_2, de composés intermédiaires RH2 et ATP (adénosine triphosphate qui se construit à partir d'ADP et de phosphate inorganique) ;
Réaction de Hill.	- dans le stroma, une phase non photochimique permet l'incorporation et la réduction du CO_2 pour la synthèse de glucides. Elle nécessite un accepteur de CO_2, de l'ATP et des composés réduits RH_2. *Limites :* *La notion de facteur limitant n'est pas au programme.* *Le fonctionnement des centres photosynthétiques, des chaînes d'oxydo-réduction et de l'ATP synthase n'est pas au programme.*
Mise en évidence d'amidon dans les chloroplastes.	Les composés glucidiques formés par la réduction du CO_2 sont exportés hors du chloroplaste vers le cytoplasme des cellules chlorophylliennes ; ils peuvent être temporairement stockés dans le chloroplaste sous forme d'amidon. Dans la cellule chlorophyllienne, les produits initiaux de la photosynthèse permettent essentiellement la synthèse de saccharose mais aussi de tous les autres constituants chimiques des êtres vivants (glucides, lipides, protéines, acides nucléiques…) grâce à un apport d'ions minéraux transportés par la sève brute. *Limites :* *L'étude des mécanismes et des supports de transport des sèves n'est pas au programme.* *L'étude de l'absorption racinaire n'est pas au programme.* *L'étude des synthèses des différents constituants des êtres vivants n'est pas au programme.*
Mise en évidence de réserves dans des graines, des fruits, des organes souterrains.	Le saccharose des cellules foliaires, en partie utilisé sur place, est majoritairement exporté hors des feuilles vers d'autres lieux d'utilisation telles que les cellules des zones en croissance et celles des zones de stockage de réserve (graines et organes de réserve, parties pérennes de la plantes, paroi cellulosique et bois). Les zones non chlorophylliennes d'une plante se comportent comme des parties hétérotrophes d'un être autotrophe.
	L'ATP, molécule indispensable à la vie cellulaire
Observation de mouvements de cyclose. Observation de contraction de fibres musculaires. Étude d'électronographies de fibres musculaires.	À l'exception du chloroplaste qui effectue des synthèses à partir du carbone minéral, les activités des cellules animales et végétales se traduisent par des synthèses à partir de molécules organiques préexistantes (ex : le glycogène), par des mouvements (fonctionnement d'un complexe actine-myosine). Toutes ces activités consomment des intermédiaires métaboliques, en particulier de l'ATP. L'ATP n'est pas stocké, mais régénéré aussi vite qu'il est détruit.
	Dégradation des composés organiques et régénération des intermédiaires métaboliques
Étude expérimentale de la respiration de suspensions cellulaires.	Toute cellule vivante, isolée ou non, animale ou végétale (autotrophe et non autotrophe), régénère son ATP en oxydant des molécules organiques par processus respiratoire ou fermentaire. Dans le cas d'une molécule de glucose la respiration cellulaire peut être traduite par le bilan des transformations : $C_6H_{12}O_6 + 6\,{}^*O_2 + 6\,H_2O \rightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2{}^*O$
Étude expérimentale de la respiration des mitochondries.	La respiration comporte plusieurs réactions chimiques catalysées par des enzymes. Au cours de ces réactions, la matière carbonée est minéralisée sous forme de CO_2.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Étude d'électronographies de mitochondries.	- La première étape est l'oxydation du glucose en pyruvate ; elle s'accompagne de la production de composés réduits $R'H_2$ (proches des composés RH_2 fabriqués au cours de la photosynthèse). Elle se déroule dans le hyaloplasme. L'énergie libérée permet par couplage la synthèse de deux molécules d'ATP par molécule de glucose oxydé. $C_6H_{12}O_6 + 2\,R' \longrightarrow 2\,CH_3COCOOH + 2\,R'H_2$ $2\,ADP + 2\,P_i \longrightarrow 2\,ATP$ - La deuxième étape se déroule dans la matrice des mitochondries. C'est une série de décarboxylations oxydatives, à partir du pyruvate, qui s'accompagne de la production de composés réduits et de synthèse d'ATP. $2\,CH_3COCOOH + 10\,R' + 6\,H2O \longrightarrow 6\,CO_2 + 10\,R'H_2$ $2\,ADP + 2\,P_i \longrightarrow 2\,ATP$ - La dernière étape se déroule dans les crêtes de la membrane interne des mitochondries. C'est l'oxydation par le dioxygène, des composés réduits produits dans les étapes précédentes. Elle est couplée à la production d'une importante quantité d'ATP. $12\,R'H_2 + 6\,O_2 \longrightarrow 12\,R' + 12\,H_2O$ $32\,ADP + 32\,P_i \longrightarrow 32\,ATP$
Etude expérimentale de la fermentation alcoolique.	Par contraste avec l'oxydation complète du substrat liée aux mitochondries, une oxydation incomplète est possible par fermentation. Elle produit un déchet organique, reste du substrat réduit non totalement oxydé lors du processus dégradatif. Cette fermentation permet un renouvellement peu efficace mais réel des intermédiaires métaboliques, ce qui autorise dans le cas de la fermentation alcoolique, une vie sans oxygène. *Limites :* *Les fermentations autres que la fermentation alcoolique ne sont pas au programme.*
A partir de documents, construction de schémas fonctionnels mettant en place les relations fonctions-structures au sein d'une cellule (utilisation des connaissances antérieures).	**Bilan structural et fonctionnel d'une cellule vivante** Toute cellule vivante est constamment soumise à un bilan d'entrée et de rejet de matière, qu'accompagnent des conversions énergétiques. La cellule eucaryote est formée de compartiments dans lesquels se déroulent des réactions métaboliques particulières, catalysées par des enzymes spécifiques. La mitochondrie et le chloroplaste proviennent probablement de bactéries qu'une cellule hôte ancestrale aurait adoptées comme endosymbiotes. Le noyau, par l'information génétique qu'il contient, dirige la synthèse des protéines, et donc des enzymes nécessaires au métabolisme de la cellule.

N.B. : La classe hors du lycée

Un déplacement de la classe hors du lycée (travail sur le terrain, dans un laboratoire, dans un musée…) pourra être éventuellement organisé. Il aura pour objectif de mettre en application les méthodes initiées en classe de première mais également de :
- servir de support à un questionnement à partir duquel sera traité un aspect du programme ;
- valider un modèle proposé et présenté en classe, et servir d'exercice d'évaluation ;
- fournir l'occasion d'une ouverture de la discipline.