

COLLECTION

Claude Lizeaux • Denis Baude



SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE
Programme 2010

Livre du professeur

Sous la direction de Claude Lizeaux et de Denis Baude,
ce livre a été écrit par :

Denis Baude

Christophe Brunet

Antoine Chaleix

Bruno Forestier

Gilles Gutjahr

Yves Jusserand

Claude Lizeaux

Armelle Mathevret

Paul Pillot

Stéphane Rabouin

André Vareille

Sommaire

Partie	Le programme de SVT 2 ^{de}	3
Partie 1	1 La Terre, la vie et l'évolution du vivant	
	Objectifs généraux	16
	Chapitre 1 La Terre, planète de la vie	19
	Chapitre 2 La nature du vivant	31
	Chapitre 3 L'ADN, support de l'information génétique	43
	Chapitre 4 Diversité et parenté du vivant	50
Chapitre 5 La biodiversité en perpétuelle évolution	59	
Partie 2	2 Enjeux planétaires contemporains	
	Objectifs généraux	70
	Chapitre 1 Le soleil, source d'énergie de la biosphère	73
	Chapitre 2 Le défi énergétique: du non renouvelable au renouvelable	82
	Chapitre 3 Nourrir l'humanité: un défi pour le XXI ^e siècle	91
	Chapitre 4 Les sols, enveloppes vivantes et fragiles	100
Partie 3	3 Corps humain et santé	
	Objectifs généraux	000
	Chapitre 1 L'effort physique nécessite de l'énergie	115
	Chapitre 2 Les réponses de l'organisme à l'effort physique	121
	Chapitre 3 La régulation nerveuse de la pression artérielle	130
	Chapitre 4 Pratiquer une activité physique en préservant sa santé	138

© Bordas/SEJER, Paris, 2010
ISBN 978-2-04-732671-8

« Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants-droit, ou ayants-cause, est illicite (article L. 122-4 du Code de la Propriété Intellectuelle). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par l'article L. 335-2 du Code de la Propriété Intellectuelle. Le Code de la Propriété Intellectuelle n'autorise, aux termes de l'article L. 122-5, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration ».

Programme de Sciences de la Vie et de la Terre en classe de Seconde générale et technologique

(*Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010*)

I. LES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE AU LYCÉE

1. Les sciences de la vie et de la Terre dans le parcours de l'élève en lycée

- *Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre***

Au lycée, les sciences de la vie et de la Terre sont une voie de motivation et de réussite pour la poursuite de la formation scientifique après le collège et la préparation à l'enseignement supérieur ; elles participent également à l'éducation en matière de santé, sécurité, environnement, de tout élève qui choisira une orientation vers des filières non scientifiques. La discipline vise trois objectifs essentiels :

- aider à la construction d'une culture scientifique commune** fondée sur des connaissances considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits (naturels ou expérimentaux) et des modes de raisonnement propres aux sciences ;

- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne** par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde et le développement de qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques ;

- préparer les futures études supérieures** de ceux qui poursuivront sur le chemin des sciences et, au-delà, les métiers auxquels il conduit ; aider par les acquis méthodologiques et techniques ceux qui s'orienteront vers d'autres voies.

- *Trois thématiques structurantes***

Pour atteindre ces objectifs, les programmes s'articulent autour de trois grandes thématiques qui, dans une large mesure, ne sont pas indépendantes.

La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant. Il s'agit de montrer – dans le cadre des domaines propres aux sciences de la vie et de la Terre – que la science construit, à partir de méthodes d'argumentation rigoureuses fondées sur l'observation du monde, une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire. Au-delà de la perspective culturelle, cette ligne de réflexion prépare aux métiers les plus proches des sciences fondamentales (recherche, enseignement).

Enjeux planétaires contemporains. Il s'agit de montrer comment la discipline participe à l'appréhension rigoureuse de grands problèmes auxquels l'humanité d'aujourd'hui se trouve confrontée. Au-delà de la préoccupation citoyenne qui prépare chacun à

l'exercice de ses responsabilités individuelles et collectives, la perspective utilisée ici conduit aux métiers de la gestion publique, aux professions en lien avec la dynamique de développement durable et aux métiers de l'environnement (agronomie, architecture, gestion des ressources naturelles).

Corps humain et santé. Centrée sur l'organisme humain, cette thématique permet à chacun de comprendre le fonctionnement de son organisme, ses capacités et ses limites. Elle prépare à l'exercice des responsabilités individuelles, familiales et sociales et constitue un tremplin vers les métiers qui se rapportent à la santé (médecine, odontologie, diététique, épidémiologie).

Ces trois thématiques ne sont en rien des catégories rigides mais bien des directions de réflexion. Elles ne se substituent pas aux découpages traditionnels de la discipline (biologie et géologie par exemple) et conduisent à la découverte progressive des grands domaines qu'elle recouvre. En particulier, les sciences de la Terre conservent une originalité qu'il convient de ne pas nier. Les thèmes généraux aident à montrer la cohérence globale du champ intellectuel concerné, centré sur un objet d'étude – la nature – et des méthodes fondées sur la confrontation entre les idées scientifiques et les faits – naturels ou expérimentaux. Elles aident aussi à situer l'enseignement dispensé dans la perspective de la construction d'un projet de vie propre à chaque élève.

Dans chaque thématique, la construction des savoirs se réalise peu à peu tout au long de la scolarité. Cette continuité est conçue pour faciliter la progressivité des apprentissages, sans pour autant empêcher la souplesse nécessaire à l'élaboration d'un parcours de formation pour chaque élève.

- *Les sciences de la vie et de la Terre dans le nouveau lycée***

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre prend en compte les objectifs généraux de la réforme des lycées.

Pour participer à l'affirmation du **caractère généraliste de la Seconde**, le programme de sciences de la vie et de la Terre fait le choix d'aborder une palette de thèmes variés et, par conséquent, accepte de ne pas trop les approfondir. Il s'agit de montrer la diversité des sujets qu'abordent les sciences de la vie et de la Terre dans l'espoir que chaque élève y trouvera matière à répondre à ses attentes. Les bases ainsi établies, le plus souvent à partir d'étude d'exemples concrets et motivants, conduiront, dans les classes ultérieures, à des approfondissements, des généralisations, des approches complémentaires. Ces bases larges permettront à l'élève de déterminer ses choix pour le cycle terminal en connaissance de cause.

Pour participer à une meilleure information des élèves sur les possibilités qui s'offrent à eux, au-delà même du lycée, le programme s'organise, comme cela a été souligné, autour de thématiques qui aident au repérage de grands secteurs d'activités professionnelles. En outre, chaque fois que cela sera possible, les professeurs saisiront les occasions offertes afin d'attirer l'attention sur des métiers plus précis, dont l'exercice professionnel présente un certain rapport avec les questions abordées en classe.

Pour participer à la facilitation des corrections de trajectoires, le programme sera organisé en prenant en compte trois préoccupations. Certaines thématiques abordées seront communes aux classes de Première scientifiques et non scientifiques (avec un niveau de précision différent). Certaines thématiques de classe de Première scientifique seront traitées de telle sorte que seules leurs conclusions les plus générales soient nécessaires en terminale. Certaines thématiques de terminale scientifique se situeront directement dans la continuité des acquis de la classe de Seconde.

Pour participer à la prise en compte de la diversité des élèves, une grande marge de liberté est laissée aux professeurs, seuls à même de déterminer les modalités pédagogiques adaptées à leur public. En outre, il est toujours possible de diversifier les activités à l'intérieur d'une même classe pour traiter un même point du programme.

2. Les conditions d'exercice de la liberté pédagogique du professeur

Le programme est conçu pour laisser une très large place à la liberté pédagogique du professeur et/ou de l'équipe disciplinaire. Cette liberté porte sur les modalités didactiques mises en œuvre, sur l'ordre dans lequel seront étudiés les thèmes, sur les exemples choisis ainsi que, dans une mesure raisonnable, sur l'amplitude de l'argumentation développée dans le cadre de tel ou tel sujet. C'est pour respecter la liberté de choix d'exemples que les objectifs de formation sont définis avec un grand degré de généralité. Ces exemples, toujours localisés, seront choisis, pour certains au moins, dans un contexte proche.

Néanmoins, la liberté pédagogique ne saurait émanciper des objectifs de formation rappelés ci-dessus. Pour aider à atteindre ces objectifs, quelques principes didactiques généraux sont rappelés ci-dessous, dont il convient de faire un usage adapté.

• *Les compétences : une combinaison de connaissances, capacités et attitudes*

L'acquisition des connaissances reste un objectif important de l'enseignement, mais il doit être replacé dans un tout dont font aussi partie, capacités et attitudes. L'affirmation de l'importance de cette formation intellectuelle et humaine explique le niveau de généralité des exigences de connaissances. **Connaissances, capacités et attitudes sont trois objectifs de formation de statuts également respectables.** Ceci conduit à leur

porter la même attention au moment de la conception des mises en œuvre pédagogiques, y compris les évaluations. Celles-ci prendront en compte, chaque fois que possible, ces trois objectifs de formation.

Si les connaissances scientifiques à mémoriser sont raisonnables, c'est pour permettre aux enseignants de consacrer du temps à faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences.

• *La démarche d'investigation*

La poursuite des objectifs de formation méthodologique implique généralement que l'on mette en œuvre une pédagogie active, au cours de laquelle l'élève participe à l'élaboration d'un projet et à la construction de son savoir. La démarche d'investigation, déjà pratiquée à l'école primaire et au collège, prend tout particulièrement son sens au lycée et s'appuie le plus souvent possible sur des travaux d'élèves en laboratoire. **Des activités pratiques, envisageables pour chacun des items du programme, seront mises en œuvre chaque fois que possible.** Le professeur s'assurera que les élèves utilisent des méthodes et outils différenciés sur l'ensemble de l'année. Ainsi, chaque élève rencontrera dans les meilleures conditions l'occasion d'aller sur le terrain, de disséquer, de préparer et réaliser des observations microscopiques, d'expérimenter avec l'aide d'un ordinateur, de modéliser, de pratiquer une recherche documentaire en ligne, etc.

L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée.

Il est d'usage de décrire une démarche d'investigation comme la succession d'un certain nombre d'étapes types :

- une situation motivante suscitant la curiosité,
- la formulation d'une problématique précise,
- l'énoncé d'hypothèses explicatives,
- la conception d'une stratégie pour éprouver ces hypothèses,
- la mise en œuvre du projet ainsi élaboré,
- la confrontation des résultats obtenus et des hypothèses,
- l'élaboration d'un savoir mémorisable,
- l'identification éventuelle de conséquences pratiques de ce savoir.

Ce canevas est la conceptualisation d'une démarche type. Le plus souvent, pour des raisons variées, il convient d'en choisir quelques aspects pour la conception des séances. C'est là aussi un espace de liberté pédagogique pour le professeur qui vérifiera toutefois qu'à l'issue de l'année, les différentes étapes auront bien été envisagées.

Pour que la démarche d'investigation soit un réel outil de formation, une vision qualitative plutôt que quantitative est préférable : mieux vaut argumenter bien et lentement qu'argumenter mal et trop vite. Cette démarche constitue le cadre intellectuel approprié pour la mise en œuvre d'activités de laboratoires, notamment manipulatoires et expérimentales, indispensables à la construction des savoirs de la discipline.

• *Les technologies de l'information et de la communication*

Les technologies de l'information et de la communication seront mises en oeuvre en de nombreuses circonstances.

Il pourra s'agir de technologies généralistes dont on fera ici un usage spécialisé, notamment **internet** en utilisation conjointe avec des techniques de laboratoire classiques. Mais on veillera aussi à développer les savoir-faire des élèves relativement aux technologies plus spécialisées, comme **l'expérimentation assistée par ordinateur**, technique indispensable pour une formation moderne et efficace des élèves.

L'usage de **logiciels, généralistes ou spécialisés**, est encouragé. Les sciences de la vie et de la Terre participent à la préparation du B2i niveau lycée.

Les productions pédagogiques, les travaux d'élèves, gagneront à être exploités, en classe et hors de la classe dans le cadre d'un **environnement numérique de travail** (ENT).

• *La pratique de démarches historiques*

L'approche historique d'une question scientifique peut être une **manière originale de construire une démarche d'investigation**. L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions. Il conviendra de veiller à ce que cette approche ne conduise pas à la simple évocation d'une succession événementielle et à ne pas caricaturer cette histoire au point de donner une fausse idée de la démonstration scientifique : si certains arguments ont une importance historique majeure, il est rare qu'un seul d'entre eux suffise à entraîner une évolution décisive des connaissances scientifiques ; de même, il serait vain de prétendre faire « réinventer » par les élèves, en une ou deux séances, ce qui a nécessité le travail de plusieurs générations de chercheurs.

• *L'approche de la complexité et le travail de terrain*

Le travail de terrain est un moyen privilégié pour **l'approche de situations complexes réelles**. Le programme de Seconde comporte plusieurs items qui se prêtent bien à la réalisation d'un travail hors de l'établissement (sortie géologique, exploration d'un écosystème, visite de musée scientifique, d'entreprise, de laboratoire).

Un tel déplacement permettra souvent de collecter des informations utiles pour plusieurs points du programme et susceptibles d'être exploitées à plusieurs moments de l'année. Un tel travail de terrain doit s'exercer en cohérence avec un projet pédagogique pensé dans le contexte de l'établissement.

Les activités en laboratoire doivent aussi être l'occasion d'aborder des tâches complexes. À partir d'une question globale elles sont l'occasion de développer les compétences des élèves et leur autonomie de raisonnement.

• *L'autonomie des élèves et le travail par atelier*

Le lycéen, dès la Seconde, doit se préparer à **une autonomie de pensée et d'organisation qui lui sera indispensable pour réussir ses études supérieures**. Les travaux pratiques se prêtent particulièrement au développement de cette compétence. Pour y parvenir, il est bon de concevoir les séances afin que l'élève dispose d'une certaine marge de manœuvre dans la construction de sa démarche.

La liberté de choix sera parfois exploitée en différenciant les exemples étudiés au sein d'une même classe. Chaque groupe d'élèves a alors en charge l'organisation autonome de son travail, sous la conduite du professeur. Échanges et débats conduisent ensuite à tirer des conclusions plus générales que l'étude collective d'un exemple unique ne le permettrait. Ils sont en outre l'occasion de développer les qualités d'expression et d'écoute.

• *L'évaluation des élèves*

Dès la classe de Seconde, les évaluations formatives jouent un rôle important pour aider les élèves à s'adapter à leur nouveau cadre de travail.

Les dimensions **diagnostique, formative et sommative** en termes de connaissances, de capacités et d'attitudes ont chacune leur utilité. Le professeur choisit des supports pertinents afin d'aider les élèves le long de leur parcours. Il facilite ainsi un accompagnement personnalisé permettant un suivi des apprentissages et une orientation éclairée.

Sans exagérer le temps annuel consacré à l'évaluation sommative, il convient de concevoir des contrôles réguliers, de durées variées et ciblés sur quelques compétences bien identifiées qui varient d'un contrôle à l'autre. L'organisation précise des évaluations dépend de la classe et constitue, tout au long du lycée, un cheminement progressif qui conduit au baccalauréat.

Les activités pratiques individuelles des élèves, qu'il convient de développer chaque fois que possible, sont également l'occasion d'évaluer les acquisitions des capacités techniques et expérimentales. Non seulement le suivi de l'acquisition de capacités expérimentales permet de vérifier le développement d'une forme de rigueur de raisonnement spécifique aux sciences expérimentales, mais encore, c'est une préparation progressive, indispensable dès la classe de Seconde, à une forme d'évaluation que les élèves pourront rencontrer au baccalauréat et au cours de leurs études supérieures. L'évaluation de la capacité à communiquer à l'oral est à renforcer.

3. Les sciences de la vie et de la Terre, discipline d'ouverture

Les sciences de la vie et de la Terre sont une discipline ouverte sur les grands problèmes de la société contemporaine, comme le montrent les intitulés du programme eux-mêmes.

• Les préoccupations éducatives

Les nombreuses connexions avec les objectifs éducatifs transversaux (santé, environnement, etc.) seront mises en évidence le plus souvent possible.

• La convergence avec d'autres disciplines

Au-delà de la parenté avec les autres sciences expérimentales que sont les sciences physiques et chimiques, les programmes de sciences de la vie et de la Terre fournissent l'occasion d'interactions avec d'autres disciplines, notamment avec les mathématiques (par la formalisation utilisée et la sensibilisation à une approche statistique), la géographie (thèmes de l'énergie et de l'eau) et l'EPS (thème activité physique).

• L'histoire des arts

En continuité avec les préconisations contenues dans les programmes de collège, il est bon de souligner que les sciences de la vie et de la Terre peuvent être l'occasion d'intéressantes relations avec l'enseignement d'histoire des arts. Les professeurs choisiront, en cohérence avec le mode d'organisation de l'enseignement de l'histoire des arts dans l'établissement, les modalités d'interactions qui leur conviennent.

Plusieurs sujets abordés dans le programme s'y prêtent, bien que le choix soit fait de ne pas le souligner au cas par cas le long du déroulé du programme afin de laisser toute liberté de mise en œuvre aux équipes.

À titre d'exemple, on peut citer les évocations littéraires de la biodiversité ou sa représentation picturale ; la statuaire du corps humain au cours d'un exercice sportif. Les évocations littéraires de la vie des mineurs renseignent sur des conditions d'exploitations souvent révoltes aujourd'hui. La représentation d'animaux ou végétaux actuels ou disparus met en scène un dialogue entre les connaissances scientifiques et les pratiques artistiques ; etc.

II. LES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE EN SECONDE

En classe de Seconde, les trois thématiques présentées dans le préambule général pour le lycée se déclinent ainsi.

Dans le thème « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant », selon une logique d'approfondissement des acquis du collège, on étudie successivement les **caractéristiques de la Terre** qui permettent de comprendre que la vie s'y développe, quelques originalités de **fonctionnement et d'organisation du vivant** et quelques idées sur la **biodiversité et son origine évolutive**.

Pour aborder le thème des « enjeux planétaires contemporains » on s'intéresse à certains aspects de la **question énergétique** ainsi qu'au défi que représente, en matière de **ressources en sol**, le développement d'une agriculture qui répond aux besoins de l'humanité.

Enfin le thème « corps humain et santé » est envisagé dans le cadre d'un exercice physique.

La liberté pédagogique du professeur est particulièrement grande en classe de seconde : il peut ainsi adapter ses pratiques et ses choix à la diversité des publics et des conditions locales. Il est souhaitable que les thèmes du programme soient abordés d'une manière suffisamment équilibrée. En revanche, dans chaque thème, le professeur est libre, tout en abordant la globalité des contenus, de choisir l'ordre des apprentissages et de déterminer les aspects sur lesquels il choisit de proposer une argumentation plus approfondie, en s'appuyant sur les méthodes, notamment manipulatoires et expérimentales, qu'il choisit de mettre en œuvre.

Programme

Le programme est présenté en deux colonnes. Chaque thème comporte une brève introduction qui en indique l'esprit général.

La colonne de gauche liste les connaissances (en caractère droit) qui doivent être acquises par les élèves à l'issue de la classe de seconde. On remarquera que ces connaissances sont toujours très générales. Il va de soi qu'elles auront été construites dans le cadre d'études d'exemples précis. Néanmoins, il convient d'insister sur le fait que **c'est bien ce niveau de généralité qui représente l'exigible** et définit donc le contenu, en matière de connaissances et d'évaluation. L'objectif de la classe de seconde est d'assurer la solidité des acquis du collège, d'apporter un nombre limité d'éléments nouveaux et de préparer ainsi la suite de la scolarité en lycée.

En italique, la colonne de gauche comporte aussi quelques commentaires qui précisent et limitent les objectifs d'apprentissage, lorsque cela paraît nécessaire :

– en italien simple, quelques **précisions sur les objectifs et mots clés** (ces mots clés correspondent à des notions qui n'ont pas été placées directement dans le programme pour de simples questions d'écriture, mais qui doivent être connues des élèves) ;

– entre parenthèses, des indications sur **ce qui a déjà été étudié** et qui ne sera pas reconstruit en seconde (ces acquis peuvent cependant être rappelés) ;

– entre crochets, quelques limites, chaque fois qu'il a semblé nécessaire de rendre parfaitement explicite ce jusqu'où ne doit pas aller l'exigible (il s'agit bien de limites de ce qui est exigible pour les élèves, ce qui ne veut pas dire qu'il est interdit d'en parler dans le déroulement de la construction du savoir) ;

– les convergences les plus marquantes vers d'autres disciplines (ces relations ne sont pas indiquées de façon exhaustive).

La colonne de droite indique les capacités et attitudes dont on attend qu'elles soient développées dans le cadre de l'item décrit.

En préambule du programme, une liste de **capacités et attitudes générales** est présentée. Il s'agit de capacités et attitudes communes à la plupart des items qui ne sont donc en général pas reprises par la suite. Il convient cependant de ne pas les oublier et d'organiser leur développement sur l'ensemble de l'année.

On observera que, par souci de continuité et de cohérence, le vocabulaire utilisé pour décrire les capacités et attitudes mises en œuvre s'inspire fortement de celui utilisé pour le socle commun de connaissances et de compétences du collège (BOEN n°29 du 20 juillet 2006).

Capacités et attitudes développées tout au long du programme

- Pratiquer une démarche scientifique (observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser).
- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique.
- Manipuler et expérimenter.
- Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes.
- Exprimer et exploiter des résultats, à l'écrit, à l'oral, en utilisant les technologies de l'information et de la communication.
- Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique. Percevoir le lien entre sciences et techniques.
- Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.
- Montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques.
- Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement, la santé, le monde vivant. Avoir une bonne maîtrise de son corps.
- Être conscient de l'existence d'implications éthiques de la science.
- Respecter les règles de sécurité.
- Comprendre la nature provisoire, en devenir, du savoir scientifique.
- Être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires.
- Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société.
- Savoir choisir un parcours de formation.

Connaissances	Capacités et attitudes
Thème 1 – La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée	
<p>L'histoire de la Terre s'inscrit dans celle de l'Univers. Le développement de la vie sur Terre est lié à des particularités de la planète. La vie émerge de la nature inerte. Les êtres vivants possèdent une organisation et un fonctionnement propres. Leurs formes montrent une diversité immense, variable dans le temps, au gré de l'évolution.</p>	
<p><i>Les conditions de la vie : une particularité de la Terre ?</i></p>	
<p>La Terre est une planète rocheuse du système solaire. Les conditions physico-chimiques qui y règnent permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie.</p> <p>Ces particularités sont liées à la taille de la Terre et à sa position dans le système solaire.</p> <p>Ces conditions peuvent exister sur d'autres planètes qui possèderaient des caractéristiques voisines sans pour autant que la présence de vie y soit certaine.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. Système solaire, étoile, planète gazeuse, planète rocheuse, astéroïde, comète.</i> <i>[Limites. Différenciation du globe terrestre ; origine de la planète ; origine de la vie.]</i> <i>Convergences. Physique : l'univers, le système solaire, les états de l'eau, l'atmosphère.</i></p>	<p>Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre ; - relier les particularités de la planète Terre à sa masse et sa distance au Soleil et définir une zone d'habitabilité autour des étoiles.
<p><i>La nature du vivant</i></p>	
<p>Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Leurs proportions sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant. Ces éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants. Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau.</p> <p>L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.</p> <p><i>(Collège. Lipides, protides, glucides.)</i> <i>[Limites. Aucune étude biochimique exhaustive n'est attendue.]</i> <i>Convergences. Chimie : les éléments chimiques, espèces chimiques, classification périodique des éléments.</i></p>	<p>Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non vivant.</p> <p>Mettre en œuvre un processus (analyse chimique et/ou logiciel de visualisation moléculaire et/ou pratique documentaire) pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant.</p>
<p>De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur de la cellule : elles constituent le métabolisme. Il est contrôlé par les conditions du milieu et par le patrimoine génétique.</p> <p>La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement.</p> <p>Cette unité structurale et fonctionnelle commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. On étudie un exemple. Mutant, organite, ordres de grandeur de tailles (cellule, organite, membrane). Distinction procaryote / eucaryote. (Collège. Membrane, noyau, cytoplasme ; information génétique, gène, allèle.)</i> <i>[Limites. Les réactions du métabolisme ; l'ultra structure des organites ; la nomenclature des organites.]</i> Convergences. <i>Chimie : transformations chimiques.</i></p>	<p>Mettre en œuvre un raisonnement expérimental pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer l'effet de mutations sur le métabolisme cellulaire et comprendre le rôle du génome ; - repérer l'influence de l'environnement sur le fonctionnement d'une cellule ; - comprendre les mécanismes d'une démonstration expérimentale : comparaisons, tests, témoins. <p>Réaliser une préparation microscopique et/ou utiliser des logiciels et/ou organiser et recenser des informations pour distinguer les échelles : atome, molécule, cellule, organe, organisme et les ordres de grandeur associés.</p> <p>Comparer des ultrastructures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants</p>

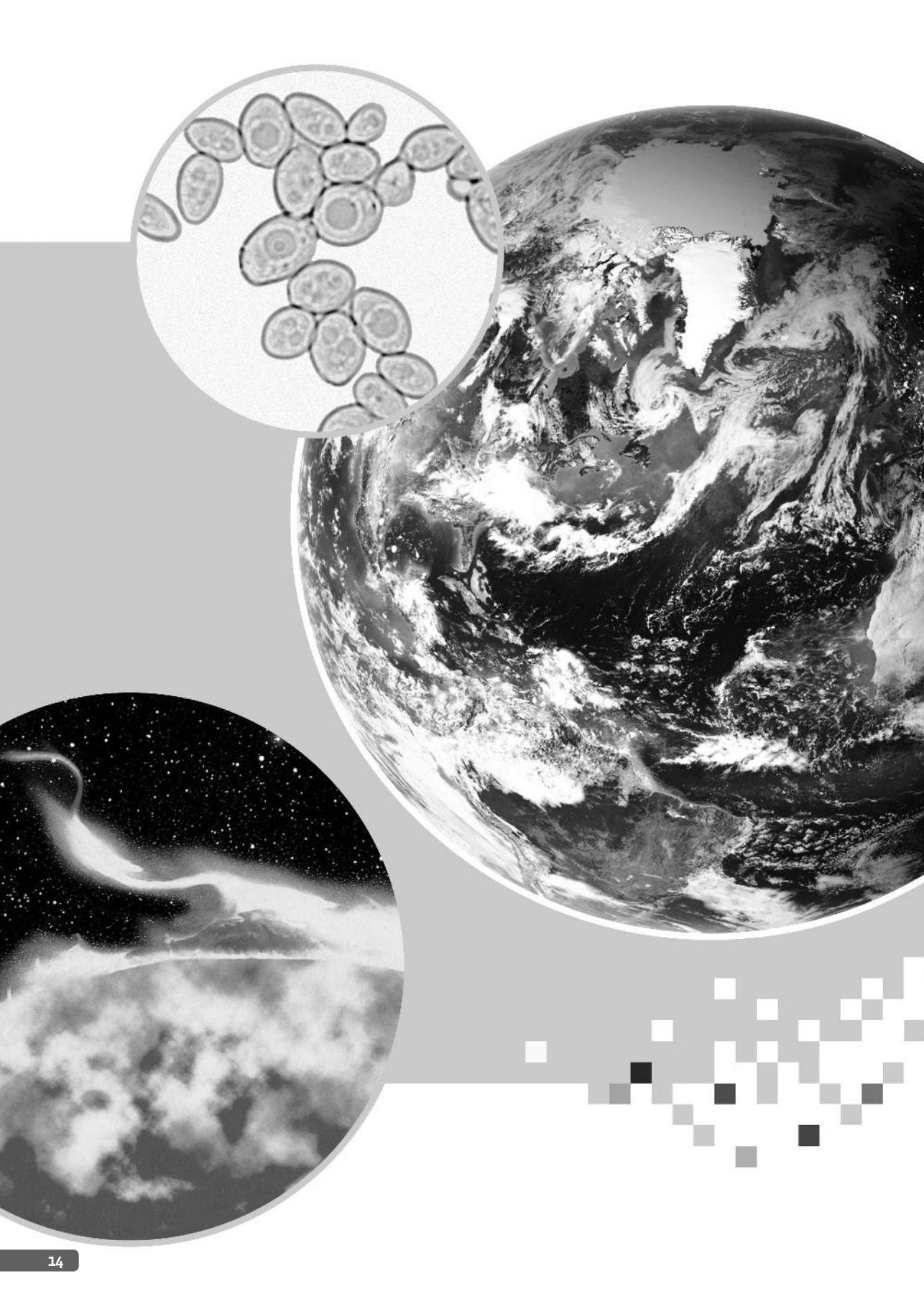
Connaissances	Capacités et attitudes
<p>La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel.</p> <p>La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN (mutation).</p> <p>L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. La double hélice, nucléotide, séquence. (Collège. L'information génétique est contenue dans le noyau ; l'ADN est présent dans le noyau.) [Limites. Code génétique, transcription, traduction, réPLICATION ; la transgénèse est utilisée comme méthode mais aucune connaissance sur ses mécanismes ne doit être acquise.]</i></p>	<p>Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour mettre en évidence l'universalité de l'ADN.</p> <p>Mettre en œuvre une méthode (démarche historique et/ou utilisation de logiciel et/ou pratique documentaire) permettant d'approcher la structure de l'ADN et la nature du message codé.</p>
<i>La biodiversité, résultat et étape de l'évolution</i>	
<p>La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.</p> <p>L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie.</p> <p>La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. On enrichit la notion de biodiversité, à l'occasion d'une sortie ou d'un travail de laboratoire. (Collège. Détermination d'espèces vivantes, première approche de la biodiversité, biodiversités anciennes.) [Limites. L'écosystème est seulement défini comme l'ensemble constitué par un milieu et les êtres vivants qui l'habitent.]</i></p>	<p>Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ; - mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité. <p>Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.</p> <p>Prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.</p>
<p>Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.</p> <p>Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. Polarité, symétrie, squelette osseux, vertèbre. (Collège. Classification en groupes emboîtés ; arbre phylogénétique.) [Limites. Les caractères communs aux vertébrés non cités dans les mots clés n'ont pas à être mémorisés.]</i></p>	<p>Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés.</p> <p>Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et/ou fossiles.</p>
<p>La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.</p> <p><i>(Collège. Première approche de la variation, crise biologique ; sélection par le milieu des formes les plus adaptées.) [Limites. La compréhension de la notion de dérive se limite à une première appréhension qualitative, sans formalisme mathématique, et sans en étudier les variantes. Aucun approfondissement n'est attendu.] Convergences. Mathématiques : simulation, tableau, échantillonnage.</i></p>	<p>Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique.</p> <p>Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.</p>

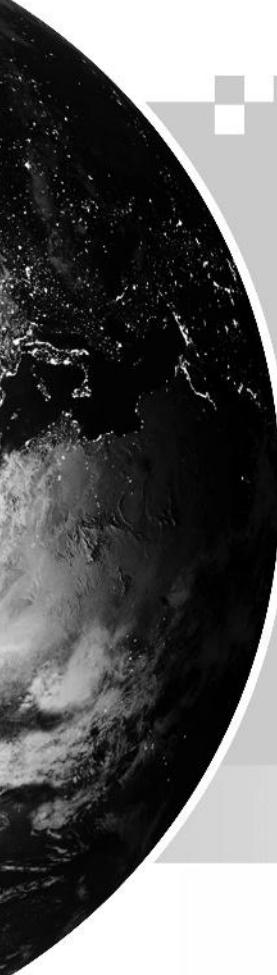
Connaissances	Capacités et attitudes
Thème 2 – Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol	
L'Homme a besoin de matière et d'énergie. La croissance démographique place l'humanité face à un enjeu majeur : trouver et exploiter des ressources (énergie, sol) tout en gérant le patrimoine naturel.	
<p style="text-align: center;"><i>Le soleil : une source d'énergie essentielle</i></p>	
<p>La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone.</p> <p>Ce processus permet, à l'échelle de la planète, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. Photosynthèse, productivité primaire, biomasse.</i> <i>(Collège. Première approche de la nutrition des végétaux ; réseau alimentaire.)</i> <i>[Limites. Aucun mécanisme cellulaire ou moléculaire n'est attendu.]</i></p>	<p>Établir, à l'aide d'arguments expérimentaux, les grands éléments de bilan de la photosynthèse.</p> <p>Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse.</p>
<p>La présence de restes organiques dans les combustibles fossiles montre qu'ils sont issus d'une biomasse. Dans des environnements de haute productivité, une faible proportion de la matière organique échappe à l'action des décomposeurs puis se transforme en combustible fossile au cours de son enfouissement. La répartition des gisements de combustibles fossiles montre que transformation et conservation de la matière organique se déroulent dans des circonstances géologiques bien particulières.</p> <p>La connaissance de ces mécanismes permet de découvrir les gisements et de les exploiter par des méthodes adaptées. Cette exploitation a des implications économiques et environnementales.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. On étudie un exemple (qui peut être un pétrole, un charbon, etc.) choisi en fonction de sa proximité ou de son intérêt ; gisement, réserve, ressource, subsidence.</i> <i>(Collège. Décomposeur, roche sédimentaire, paléoenvironnement.)</i> <i>[Limites. L'explication de la répartition des ressources à l'échelle globale n'est pas au programme de la classe de seconde mais sera reprise ultérieurement. On signalera l'inégale répartition et on annoncera l'étude future de cet aspect.]</i> <i>Convergences. Géographie.</i></p>	<p>Repérer dans la composition et les conditions de gisement les indices d'une origine biologique d'un exemple de combustible fossile.</p> <p>Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations, si possible sur le terrain et/ou modéliser pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de combustible fossile (structure, formation, découverte, exploitation).</p>
<p>L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone.</p> <p><i>[Limites. Les conséquences climatiques de la variation du dioxyde de carbone atmosphérique ne seront qu'évoquées en seconde et seront étudiées ultérieurement.]</i></p>	<p>Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations pour repérer dans une archive géologique simple les indices d'une variation d'origine humaine de la teneur en dioxyde de carbone atmosphérique.</p> <p>Représenter un cycle du carbone simplifié mais quantifié pour comprendre en quoi l'utilisation des combustibles fossiles constitue un enjeu planétaire.</p>

Connaissances	Capacités et attitudes
<p>L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète.</p> <p>La photosynthèse en utilise moins de 1 %. Le reste chauffe l'air (par l'intermédiaire du sol) et l'eau (ce qui est à l'origine des vents et courants) et évapore l'eau (ce qui permet le cycle de l'eau).</p> <p>Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Ces ressources énergétiques sont rapidement renouvelables.</p> <p>La comparaison de l'énergie reçue par la planète et des besoins humains en énergie permet de discuter de la place actuelle ou future de ces différentes formes d'énergie d'origine solaire.</p> <p><i>Collège. Le cycle de l'eau.</i> <i>[Limites. Il s'agit seulement de proposer une vision globale, sans chercher à expliquer chacun des éléments de façon exhaustive. L'énergie nucléaire pourra simplement être signalée dans le cadre d'un panorama d'ensemble quantifié.]</i> <i>Convergences. Géographie, sciences économiques.</i></p>	<p>Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations (documents météorologiques et/ou images satellites et/ou documents océanographiques, etc.) et les mettre en relation pour comprendre l'effet de l'énergie solaire sur un exemple de circulation (atmosphérique ou hydrosphérique).</p> <p>Construire une argumentation (de nature manipulatoire et/ou documentaire) pour montrer l'inégale répartition de la quantité d'énergie solaire reçue selon la latitude, et ses conséquences.</p>
<i>Le sol : un patrimoine durable ?</i>	
<p>Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse. L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle.</p> <p>La biomasse végétale produite par l'agriculture est une source de nourriture mais aussi une source de combustibles ou d'agrocarburants. Ces deux productions entrent en concurrence.</p> <p><i>[Limites. Aucune étude de pratique agricole n'est attendue.]</i> <i>Convergences. Géographie.</i></p>	<p>Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations de façon à</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer la part de production de biomasse utilisée par l'homme et le total de cette production ; - établir l'inégale répartition de ces deux ressources. Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement. <p>Comprendre les éléments d'un débat. Manifester un intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société à l'échelle planétaire.</p> <p>Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations afin de comprendre comment l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit.</p>
<p>Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température. Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. On étudie un exemple, dans l'objectif de comprendre ce qu'est un sol et qu'il résulte d'une lente formation ; altération, hydrolyse, roche mère, humus, horizon.</i> <i>[Limites. Les différents types de sol ; les différents types d'horizons ; tout vocabulaire de pédologie autre que les quelques termes cités ; les mécanismes de formation du sol au-delà de la simple existence d'une altération et d'une interaction avec la biosphère.]</i></p>	<p>Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendre la formation d'un exemple de sol ; - relier végétation, climat, nature de la roche mère et nature d'un exemple de sol. <p>Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.</p>

Connaissances	Capacités et attitudes
Thème 3 – Corps humain et santé : l'exercice physique	
<p>La connaissance du corps et de son fonctionnement est indispensable pour pratiquer un exercice physique dans des conditions compatibles avec la santé. Cela passe par la compréhension des effets physiologiques de l'effort et de ses mécanismes dont on étudie ici un petit nombre d'aspects.</p>	
Des modifications physiologiques à l'effort	
<p>Au cours d'un exercice long et/ou peu intense, l'énergie est fournie par la respiration, qui utilise le dioxygène et les nutriments.</p>	<p>Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (ExAO, spirométrie, brassard...) pour mettre en évidence un ou plusieurs aspects du métabolisme énergétique à l'effort (consommation de dioxygène, production de chaleur...).</p>
<p>L'effort physique augmente la consommation de dioxygène :</p> <ul style="list-style-type: none"> - plus l'effort est intense, plus la consommation de dioxygène augmente ; - il y a une limite à la consommation de dioxygène. <p>La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. L'exercice physique est un des facteurs qui aident à lutter contre l'obésité.</p>	<p>Exploiter des données quantitatives (éventuellement à l'aide d'un tableau) concernant les modifications de la consommation de dioxygène et/ou de nutriments à l'effort.</p>
<p><i>Objectifs et mots clés. VO₂, VO_{2max}.</i> <i>(Collège. Nutriments et dioxygène libèrent de l'énergie utilisable pour le fonctionnement des organes. Réactions de l'organisme à l'effort).</i> <i>[Limites. Aucune étude n'est conduite à l'échelle cellulaire.]</i> <i>Convergences. Mathématiques : fonctions, tableur.</i></p>	
<p>Au cours de l'effort un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque) ; fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) ; pression artérielle.</p> <p>Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène et en nutriments. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié.</p> <p>Un bon état cardiovasculaire et ventilatoire est indispensable à la pratique d'un exercice physique.</p>	<p>Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (en particulier assisté par ordinateur) pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort.</p> <p>Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et ou manipuler (dissections et/ou logiciels de simulation et/ou recherche documentaire) pour comprendre l'organisation et le fonctionnement des systèmes cardiovasculaire et ventilatoire.</p>
<p><i>Objectifs et mots clés. Cœur, artère, veine, capillaire, pression artérielle, double circulation en série, circulation générale en parallèle.</i> <i>(Collège. Modifications des fréquences cardiaque et ventilatoire à l'effort ; besoin du muscle en dioxygène et nutriments ; bases anatomiques.)</i> <i>[Limites. L'étude anatomique se limite à celle du cœur et de l'organisation générale de la circulation. Aucune étude histologique n'est attendue.]</i> <i>Convergences. EPS, sciences physiques.</i></p>	

Connaissances	Capacités et attitudes
<i>Une boucle de régulation nerveuse</i>	
<p>La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres. Par exemple, il existe une boucle réflexe de contrôle de la fréquence cardiaque (dont la pression artérielle dépend par l'intermédiaire du débit) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ; - un centre bulinaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (coeur) ; - les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques. La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. <p>À l'effort, l'organisme s'écarte de cette situation standard.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. À partir de la complexité des réactions de l'organisme à l'effort, on isole un seul aspect (le contrôle nerveux de la fréquence cardiaque dans le cadre de la régulation de la pression artérielle) afin de construire le concept de boucle de régulation. [Limites. Tout autre mécanisme intervenant sur la régulation de la pression artérielle ; on pourra signaler que l'on n'étudie que l'un des éléments d'un ensemble complexe qui sera complété dans une classe ultérieure. Toute étude à l'échelle cellulaire du fonctionnement des récepteurs, des fibres nerveuses, du bulbe ou des effets nerveux sur le cœur ; les médiateurs nerveux. Le message nerveux est vu simplement comme un train de signaux de nature électrique. Le mode de détermination de la valeur de la pression artérielle selon les circonstances n'est pas au programme.]</i></p>	<p>Recenser, extraire et exploiter des documents historiques relatifs à des travaux expérimentaux pour construire et/ou argumenter la boucle de régulation nerveuse évoquée.</p> <p>Élaborer un schéma fonctionnel pour représenter une boucle de régulation.</p>
<i>Pratiquer une activité physique en préservant sa santé</i>	
<p>Le muscle strié squelettique et les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé. Les accidents musculo-articulaires s'expliquent par une détérioration du tissu musculaire, des tendons, ou de la structure articulaire.</p> <p>Au cours de la contraction musculaire, la force exercée tire sur les tendons et fait jouer une articulation, ce qui conduit à un mouvement.</p> <p><i>Objectifs et mots clés. On étudie un exemple d'accident musculo-articulaire (claquage, entorse, déchirure...). La recherche de l'explication de l'accident choisi conduit à en connaître l'origine et débouche sur la compréhension de la structure normale du système musculo-articulaire. L'organisation d'un muscle est abordée jusqu'à l'identification de la cellule musculaire. [Limites. Toute étude intracellulaire de la fibre musculaire ou de sa contraction est exclue. La commande de la contraction n'est pas au programme.]</i></p>	<p>Recenser, extraire et interpréter des informations tirées de compte rendus d'accidents musculo-articulaires (imageries médicales).</p> <p>Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et/ou manipuler (dissections, maquettes, etc.) pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire.</p> <p>Relier les caractéristiques de l'organisation du muscle aux manifestations d'un accident musculo-articulaire.</p>
<p>Des pratiques inadaptées ou dangereuses (exercice trop intense, dopage...) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents.</p> <p><i>[Limites. On se limite à l'étude d'un exemple.]</i></p>	<p>Extraire et exploiter des informations pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendre la différence entre l'usage thérapeutique d'une molécule et l'usage détourné qui peut en être fait ; - comprendre l'effet sur la santé des sportifs d'une pratique de dopage ; - déterminer comment se livrer à un exercice physique dans de bonnes conditions de santé. <p>Exercer sa responsabilité en matière de santé.</p>





Partie
1

La Terre, la vie et l'évolution du vivant

Chapitre 1	La Terre, planète de la vie	19
Chapitre 2	La nature du vivant	31
Chapitre 3	L'ADN, support de l'information génétique	43
Chapitre 4	Diversité et parenté du vivant	50
Chapitre 5	La biodiversité en perpétuelle évolution	59

1 La Terre, la vie et l'évolution du vivant

Les objectifs généraux de cette partie

Selon les textes officiels, les trois grandes parties du programme de la classe de Seconde doivent être abordées d'une manière équilibrée. Il apparaît donc raisonnable de consacrer un gros tiers du temps annuel à cette première partie. Le manuel propose une large palette d'activités qui s'inscrivent dans les objectifs précisés par le programme : cependant, toutes ces activités ne sont pas obligatoires et il sera nécessaire de faire des choix, de façon à ménager le temps nécessaire pour traiter les deux autres parties du programme. On peut par exemple choisir d'illustrer telle notion par une activité pratique expérimentale alors qu'une autre notion sera simplement et plus rapidement exposée. Cette liberté pédagogique du professeur est du reste spécifiée par le préambule du programme.

Le thème « **La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant** » s'inscrit dans la continuité des programmes de collège, dans une logique d'approfondissement. Une double page permet de mobiliser rapidement les acquis essentiels du collège sans qu'il soit nécessaire de les redémontrer.

Dans cette partie, on étudie tout d'abord les **caractéristiques de la Terre** en tant qu'objet singulier du système solaire : le but n'est pas ici de faire une étude approfondie des objets du système solaire (une étude descriptive de l'Univers et du système solaire figure au programme de sciences physiques) mais de faire comprendre en quoi les caractéristiques de la Terre permettent le développement de la vie telle que nous la connaissons.

Dans un deuxième temps, on cherchera à préciser les **originalités du vivant**, tant en ce qui concerne la matière vivante que son organisation et son fonctionnement.

Enfin, on fera comprendre que la biodiversité que nous pouvons constater aujourd'hui n'est qu'une étape, un instantané provisoire de l'**évolution de la vie** sur la planète Terre.

Cette partie du programme permet de développer un certain nombre de compétences :

- **Des connaissances** : il s'agit d'abord de montrer que la Terre est un objet parmi d'autres dans le système solaire mais que les conditions qui y règnent ont permis le développement de la vie. La matière qui constitue le monde vivant est directement issue du monde inerte mais les proportions importantes de quelques éléments chimiques sont caractéristiques de la matière des êtres vivants. On étudie ensuite comment cette matière s'organise, aux différents niveaux : molécules, organites, cellules, organes, organismes. La cellule, unité structurale du vivant, est aussi une unité fonctionnelle, siège de transformations chimiques qui constituent le métabolisme. La nature de l'information génétique est précisée. On montre en quoi consiste le message génétique et on constate sa variabilité. La biodiversité actuelle est une étape de l'histoire du monde vivant. La biodiversité se modifie sous l'effet de différents facteurs, dont l'activité humaine. Sélection naturelle et dérive génétique expliquent l'évolution de la diversité génétique.

- **Des capacités** : cette partie du programme permet de mettre en œuvre diverses activités expérimentales, manipulatoires. Les élèves seront notamment amenés à construire et appliquer des protocoles expérimentaux, ExAO notamment (énergie reçue par les planètes, métabolisme cellulaire), à réaliser des observations (dissections, observations

microscopiques de cellules). Les élèves pratiqueront les étapes essentielles de la démarche scientifique : observation, questionnement, formulation d'hypothèses, expérimentation, raisonnement, communication sous forme de tableaux ou de graphes. Ils apprendront à rechercher des informations et à faire un tri de façon à dégager l'information pertinente (caractéristiques des planètes...). Certaines activités se prêtent plus particulièrement à la modélisation (visualisation moléculaire, effet de la dérive génétique...).

- **Des attitudes** : dans cette partie, les élèves auront l'occasion d'exercer leur esprit critique (par exemple, sur quelles bases scientifiques recherche-t-on l'existence d'une vie ailleurs que sur Terre ?). Plusieurs exemples (transgénèse, biodiversité) permettront de prendre conscience de la responsabilité de l'Homme par rapport au monde vivant.

Cette première partie du programme est découpée en cinq chapitres : le **chapitre 1** est consacré à l'étude de la Terre en tant que planète de la vie. Le **chapitre 2** permet d'aborder la nature du vivant. Dans la continuité, le **chapitre 3** est plus particulièrement consacré à la nature de l'information génétique. L'étude de la biodiversité a été découpée en deux chapitres afin d'en faciliter l'apprehension : le **chapitre 4** définit les divers aspects de la biodiversité et renforce la notion de parenté entre les êtres vivants tandis que le **chapitre 5** est plus particulièrement consacré à l'évolution de la biodiversité et propose l'étude de certains mécanismes susceptibles d'expliquer cette évolution.

Une correspondance entre le programme officiel et les chapitres du manuel

Connaissances	Les chapitres du manuel
<p><i>Les conditions de la vie : une particularité de la Terre ?</i></p> <p>La Terre est une planète rocheuse du système solaire. Les conditions physico-chimiques qui y règnent permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie.</p> <p>Ces particularités sont liées à la taille de la Terre et à sa position dans le système solaire.</p> <p>Ces conditions peuvent exister sur d'autres planètes qui possèderaient des caractéristiques voisines sans pour autant que la présence de vie y soit certaine.</p>	<p>chapitre 1</p> <p>La Terre, planète de la vie (pages 10-29)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Les objets du système solaire</p> <p>Act. 2 La Terre, planète rocheuse du système solaire</p> <p>Act. 3 Des caractéristiques favorables à la vie</p> <p>Act. 4 La détermination des conditions d'habitabilité</p> <p>Act. 5 La vie ailleurs dans l'Univers ?</p>

Connaissances	Les chapitres du manuel
<p><i>La nature du vivant</i></p> <p>Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Leurs proportions sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant. Ces éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants. Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau.</p> <p>L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.</p> <p>De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur de la cellule : elles constituent le métabolisme. Il est contrôlé par les conditions du milieu et par le patrimoine génétique.</p> <p>La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement.</p> <p>Cette unité structurale et fonctionnelle commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.</p>	<p>chapitre 2</p> <p>La nature du vivant (pages 30-49)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 La matière vivante, des poussières d'étoiles</p> <p>Act. 2 Les molécules du vivant</p> <p>Act. 3 La cellule, unité structurale du vivant</p> <p>Act. 4 La cellule, siège des réactions chimiques de la vie</p> <p>Act. 5 La cellule, indice d'une parenté entre les êtres vivants</p>
<p>La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel.</p> <p>La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN (mutation).</p> <p>L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants.</p>	<p>chapitre 3</p> <p>L'ADN, support de l'information génétique (pages 50-67)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Les enseignements de la transgénèse</p> <p>Act. 2 L'organisation de la molécule d'ADN</p> <p>Act. 3 Le langage codé de l'ADN</p> <p>Act. 4 Diversité génétique et variabilité de l'ADN</p>
<p><i>La biodiversité, résultat et étape de l'évolution</i></p> <p>La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.</p> <p>L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie.</p> <p>La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.</p> <p>Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.</p> <p>Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.</p>	<p>chapitre 4</p> <p>Diversité et parenté du vivant (pages 68-85)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Étudier la biodiversité à l'échelle locale</p> <p>Act. 2 La biodiversité à l'échelle de la planète</p> <p>Act. 3 Au sein de la biodiversité, des groupes d'êtres vivants</p> <p>Act. 4 Le regroupement d'êtres vivants traduit une parenté</p>
<p>La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité.</p> <p>La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.</p>	<p>chapitre 5</p> <p>La biodiversité en perpétuelle évolution (pages 86-103)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Un exemple de biodiversité ancienne</p> <p>Act. 2 L'Homme, facteur d'évolution de la biodiversité</p> <p>Act. 3 Dérive génétique et biodiversité</p> <p>Act. 4 Sélection naturelle et biodiversité</p>

La Terre, planète de la vie

Activités pratiques

1

Les objets du système solaire (p. 12-13)

Connaissances	Capacités et attitudes
La Terre est une planète rocheuse du système solaire.	Recenser, extraire et organiser des informations pour comparer les différents objets du système solaire.

1. Les intentions pédagogiques

L'objectif est, pour débuter cette partie du programme, de faire connaissance avec les différents objets qui composent le système solaire et de les positionner les uns par rapport aux autres afin de pouvoir, par la suite, établir des comparaisons.

Le **document 1** rappelle que le Soleil est une étoile et donne les informations essentielles permettant de le distinguer de tous les autres objets du système solaire. Ce document met en évidence l'importance du Soleil, tant du point de vue de sa taille que de la quantité d'énergie qu'il produit et émet.

Grâce au **document 2**, il est possible de situer les huit planètes du système solaire dans l'ordre et donc de faciliter l'acquisition de cette connaissance de base. Ce document permet en outre d'ouvrir le débat sur le statut de Pluton (planète naine) et de définir plus précisément ce qu'est une planète. Des informations complémentaires, qui n'ont pas leur place dans le manuel, peuvent éventuellement être apportées : une planète naine se distingue d'un astéroïde car sa masse est suffisante pour que les forces de gravité lui confèrent une forme sphérique. Elle se distingue cependant d'une planète car sa masse est insuffisante pour éliminer de son voisinage orbital les autres corps célestes.

Les **documents 3 à 5** ont pour but de présenter les différentes catégories d'objets du système solaire. À ce stade, la Terre apparaît finalement comme un objet parmi d'autres. Les échelles indiquées sur les différents documents permettront de faire des comparaisons de dimensions. On pourra remarquer qu'un astéroïde peut lui-même posséder un satellite. Quant à la comète Hale-Bopp, on pourra souligner que cette remarquable observation a pu être faite depuis la Terre elle-même. La possibilité de collisions et donc l'existence de cratères d'impact pourra ici être évoquée. Elle ne figure pas en tant que telle au programme mais pourra faire l'objet d'un exercice (exercice 6, page 27).

2. Les pistes d'exploitation

1. Une étoile est une énorme boule de gaz, émettant de grandes quantités d'énergie, située au centre d'un système. Une planète est de taille plus réduite ; elle n'émet pas ou très peu d'énergie et gravite sur une orbite autour d'une étoile.

- 2.** La distance Terre-Soleil est de 150 000 000 km (doc. 3), soit environ 400 fois plus que la distance Terre-Lune (384 400 km). Un satellite est un petit corps céleste retenu par gravitation en rotation autour d'une planète ou d'un astéroïde.
- 3.** Une planète est un corps céleste de taille suffisamment grande pour avoir une forme sphérique et est située seule sur son orbite. Un astéroïde est un corps rocheux de petite taille et par conséquent non sphérique. Dans le système solaire, beaucoup d'astéroïdes sont situés sur une même orbite, entre Mars et Jupiter. Une comète est un petit corps constitué de poussières et de glace qui tourne autour du Soleil sur une orbite elliptique très allongée (alors que celle des astéroïdes est quasi circulaire).
- 4.** Qualifier de solaire notre système se justifie car le Soleil en est à la fois le plus gros objet, le centre, la source de gravitation responsable de la rotation des autres objets autour de lui et la source principale d'énergie.

3. Ressources complémentaires

- « Neuf planètes » (en anglais) :
<http://www.nineplanets.org/>
- « Neuf planètes » (en français, incomplet) :
<http://www.lasam.ca/billavf/nineplanets/nineplanets.html>
- Banque de photos du système solaire et de l'Univers de la NASA :
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/index.html>
- Des images haute résolution de Mars :
<http://hirise.lpl.arizona.edu/>
- Des images du télescope Hubble :
<http://hubblesite.org/gallery/>
- Une conférence en ligne sur la formation du système solaire :
<http://acces.inrp.fr/clea/actualites/la-formation-du-systeme-solaire/>
- Une autre banque d'images de la NASA :
<http://www.nasaimages.org/>
- Galerie multimédia de l'Agence spatiale européenne :
<http://www.esa.int/esa-mmg/mmghome.pl>
- Astronomie pour les enseignants (Observatoire de Paris) :
<http://media4.obspm.fr/public/AMC/>
- 4 vidéos sur le système solaire :
http://www.pixmodels.com/video_hd_pixmodels.html

La Terre, planète rocheuse du système solaire (p. 14-15)

Connaissances	Capacités et attitudes
La Terre est une planète rocheuse du système solaire.	Recenser, extraire et organiser des informations pour comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre.

1. Les intentions pédagogiques

Après avoir montré que la Terre est un objet parmi d'autres dans le système solaire et l'avoir rangé dans la catégorie des planètes, il s'agit ici de préciser certaines des caractéristiques de la Terre, la rapprochant ou la différenciant des autres objets. Il ne faut pas perdre de vue l'objectif de cette comparaison : mettre en évidence les conditions favorables à la vie.

Les deux photographies du **document 1** ont été soigneusement choisies (même angle de vue) car elles permettent de faire une comparaison entre ces deux planètes et d'identifier leurs caractéristiques essentielles. Ce sont deux planètes rocheuses (les roches sont nettement visibles sur les deux photographies) mais les paysages sont bien différents. Les miniatures des planètes permettent en outre de constater que leurs structures internes sont similaires (sans entrer dans les détails évidemment). La présence du robot de la Nasa sur la planète Mars est un «clin d'œil» : la seule manifestation de vie actuellement présente à la surface de la planète Mars est un objet manufacturé exporté depuis la Terre !

Par opposition, le **document 2** présente une planète gazeuse, Jupiter. La comparaison de ce document et du précédent permet de mettre en évidence le caractère gazeux ou rocheux des planètes. Le texte et le croquis sont complémentaires et mettent particulièrement en évidence le caractère gazeux de cette planète. La photographie permet de réaliser une comparaison mathématique et de se familiariser avec l'ordre de grandeur de ces dimensions : on pourra calculer combien de planètes Terre peuvent «entrer» dans la Grande Tache Rouge.

Le tableau du **document 3** présente les données essentielles sur les planètes du système solaire et Europe, l'un des satellites de Jupiter. Le choix de ce satellite se justifie car il sera étudié par la suite (*Activités pratiques 5*, page 20), dans l'optique de la recherche d'une vie extraterrestre. En effet, les exobiologistes orientent leurs recherches vers les planètes rocheuses mais aussi vers les satellites des grosses planètes dont les conditions pourraient être ou avoir été propices à une forme de vie. Ces données seront utilisées par ailleurs dans les activités suivantes (température, masse, etc.).

Ce tableau, qu'il ne convient évidemment pas d'étudier dans son intégralité, permet :

- d'extraire les informations pertinentes en réponse à une question posée (tri des informations) ;
- de recenser des informations pour faire des comparaisons, sans s'égarer et perdre du temps dans des banques de données trop volumineuses ;
- de réaliser des graphiques (avec un tableur, par exemple), afin de mettre en évidence les planètes gazeuses et rocheuses (densité en fonction du diamètre par exemple).

2. Les pistes d'exploitation

1. Les deux photographies révèlent des paysages bien différents :
 - le paysage terrestre est coloré, on observe un ciel clair avec des nuages, des montagnes rocheuses, de l'eau sous forme de neige et d'océan, des animaux ;
 - le paysage martien est de couleur plus homogène, rougeâtre. Le ciel semble vide et la surface du sol ne montre que des blocs rocheux. On ne voit ni eau ni trace de vie (si ce n'est le robot envoyé depuis la Terre par les Hommes).Cependant, La Terre et Mars présentent des similitudes : ces planètes sont assez proches du Soleil, d'un petit diamètre (même si la Terre a un diamètre deux fois plus grand), toutes deux sont rocheuses (mêmes composants majoritaires) et possèdent une atmosphère. Cependant, la Terre a une masse 10 fois supérieure à celle de Mars et présente de l'eau à l'état liquide en abondance à sa surface.
2. Jupiter est une planète géante (de diamètre 12 fois plus important que celui de la Terre), bien différente de la Terre et de Mars puisqu'elle n'est pas rocheuse mais gazeuse. Elle ne possède qu'un petit noyau rocheux et une énorme couche de gaz dont la composition (H et He) n'a rien à voir avec l'atmosphère terrestre. La Grande Tache Rouge de Jupiter a un diamètre double de celui de la Terre : deux planètes Terre peuvent donc « rentrer » dans cette grande tache rouge, ce qui montre le gigantisme de cette planète.
3. Planètes rocheuses : Mercure, Vénus, Terre et Mars. Planètes gazeuses : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Europe se rapproche des planètes rocheuses, puisque ce satellite a une densité assez élevée et est composé des mêmes constituants (fer, silicates).
4. La Terre est la troisième planète du système solaire (classement selon l'éloignement du Soleil). C'est une petite planète rocheuse constituée de fer et de silicates. Elle possède de ce fait une densité élevée. Elle est entourée d'une atmosphère et présente en surface de l'eau à l'état liquide et des êtres vivants. Sa température de surface peut être qualifiée de moyenne, comparativement à celles relevées sur les autres planètes du système solaire.

3. Ressources complémentaires

Voir la sélection de sites proposés pour les *Activités pratiques 1*.

Logiciels :

- Le système solaire en 3D (Académie de Toulouse) :
<http://pedagogie.actoulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/systeme%20solaire%203d/Ssol3d.htm>
- Simulateur d'univers Célestia :
<http://www.shatters.net/celestia/>

Des caractéristiques favorables à la vie (p. 16-17)

Connaissances	Capacités et attitudes
Les conditions physico-chimiques qui règnent sur la Terre permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie.	Recenser, extraire et organiser des informations pour comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre.

1. Les intentions pédagogiques

À ce stade, la Terre a été présentée comme une planète rocheuse sur laquelle la vie a pu se développer. L'objectif de cette activité est de relier la présence de vie sur Terre à deux particularités de cette planète : la présence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie.

L'atmosphère de la Terre présente certaines caractéristiques exposées par le **document 1** : la photographie exceptionnelle prise depuis la navette spatiale révèle la structure stratifiée de l'atmosphère et montre la localisation des nuages dans la basse couche. Les données de température et de pression seront utilisées dans les activités suivantes mais figurent ici de façon à caractériser l'atmosphère terrestre par rapport à celle d'une autre planète, Mars en l'occurrence (l'unité de pression choisie ici est le bar, car elle reste beaucoup plus facile à utiliser dans ce contexte que le pascal). Mais c'est surtout la composition de l'atmosphère terrestre qui signe sa particularité : faible proportion de dioxyde de carbone, forte proportion de dioxygène.

Qu'est-ce qu'une atmosphère propice à la vie ? S'il est vrai que l'apparition du dioxygène a probablement été au cours de l'évolution un problème pour les premiers êtres vivants, on peut constater que ceux-ci ont sus par la suite, tirer parti de la présence de ce gaz dans l'atmosphère. C'est ce que montre le **document 2**, qui présente l'importance du dioxygène en tant que gaz permettant la respiration (phénomène associé à la vie pour les élèves) et comme gaz à l'origine de l'ozone, jouant un rôle de barrage aux rayons UV et permettant ainsi le développement de la vie en surface de la Terre.

Le **document 3** montre l'importance de l'eau liquide comme milieu favorable à la vie. Les élèves savent intuitivement que la vie est impossible sans eau et ils constateront dans le chapitre 2 qu'une caractéristique de la matière vivante est sa richesse en eau (voir p. 35). Le texte associé à ce document apporte quelques explications scientifiques plus précises, permettant de comprendre pourquoi ce milieu est propice à la vie.

L'intérêt du **document 4** est d'élargir le champ des conditions que l'on considère habituellement comme compatibles avec la vie. Avant même de poser la question d'une définition de la vie, il est intéressant de considérer que des formes de vie, moins connues des élèves, existent, dans des conditions inhabituelles. Le milieu présenté ici (sources hydrothermales), bien qu'étant soumis à des conditions peu propices à la vie (obscurité, pression et température élevées), abrite néanmoins la vie, sous des formes parfois très spécifiques. Le milieu liquide permet donc la vie, même quand les conditions de pression et température sont extrêmes. L'exercice 4, page 26 présente d'autres conditions de vie d'organismes « extrémophiles ».

2. Les pistes d'exploitation

- 1.** L'atmosphère terrestre est favorable à la vie car:
 - l'ozone apporte une protection contre les rayons UV nocifs,
 - le dioxygène permet la respiration,
 - la faible concentration en CO₂ n'engendre qu'un effet de serre modéré.
- 2.** Sans l'effet de serre naturel qui élève la température moyenne de la Terre de 30 °C, la température sur Terre serait en moyenne de – 15 °C et l'eau y serait donc sous forme de glace. Or l'état solide de l'eau n'est pas propice à la vie.
- 3.** L'eau est un milieu favorable à la vie si elle est à l'état liquide car cet état permet la diffusion rapide et la rencontre des molécules et donc les réactions chimiques indispensables à la vie. L'eau est un des principaux constituants de tout être vivant.
- 4.** L'existence de formes de vie dans les milieux extrêmes permet d'imaginer que la vie peut exister sur d'autres planètes dans des milieux improbables *a priori*, dans lesquels la température, la pression ou d'autres conditions semblent pourtant défavorables.

3. Ressources complémentaires

- Banque de données sur les extrémophiles:
<http://library.thinkquest.org/CR0212089/hisextrem.htm>

La détermination des conditions d'habitabilité (p. 18-19)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ces particularités sont liées à la taille de la Terre et à sa position dans le système solaire.	Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour relier les particularités de la planète Terre à sa masse et sa distance au Soleil et définir une zone d'habitabilité autour des étoiles.

1. Les intentions pédagogiques

Nous avons vu que la Terre est une planète singulière, notamment par la présence d'eau liquide et d'une atmosphère propice à la vie. L'objectif de cette activité et de montrer que ces deux conditions physico-chimiques sont dépendantes de la masse de la planète Terre et de sa position dans le système solaire.

Une activité expérimentale de modélisation de la dispersion de l'énergie solaire en fonction de la distance de la source lumineuse est ici réalisable.

La photographie du **document 1** montre l'eau sous ses différents états et le diagramme indique les conditions de pression et de température qui déterminent chaque état physique de l'eau. Pour se familiariser avec ce diagramme, on peut tout d'abord faire rechercher les températures auxquelles sont habituellement associés les changements d'état physique de l'eau : 0 °C et 100 °C (ces deux points sont matérialisés sur le diagramme figuré ici). On peut alors expliquer que ces valeurs dépendent en réalité aussi de la pression (par exemple, si la pression est plus élevée, la température d'ébullition augmente : exemple de la cocotte-minute). À noter que la pression est une grandeur physique qui fait l'objet d'une présentation et d'une étude au programme de sciences physiques de la classe de Seconde : on peut donc établir le lien avec cette discipline.

Après cette « prise en main », le diagramme sera mis en relation avec les données de l'activité précédente sur les conditions de pression et de température sur la Terre et sur Mars : il permet alors de comprendre pourquoi l'eau à l'état liquide peut exister en abondance sur la première planète, mais pas sur la seconde. On fera cependant remarquer que les conditions sur Mars ne sont pas très éloignées de la possibilité d'un état liquide de l'eau, d'autant que de telles conditions sont susceptibles d'avoir évolué au cours du temps. Ce constat sera mis à profit dans l'activité suivante pour proposer une explication à l'existence de traces d'érosion sur Mars.

Le **document 2** explique l'importance de la masse de la planète : c'est ce facteur qui détermine l'existence et l'épaisseur d'une atmosphère (et donc de la pression atmosphérique), expliquant en particulier la faible atmosphère de la planète Mars. En sciences physiques, dans le cadre de l'étude du système solaire, les élèves étudient l'attraction universelle (gravitation). Il est donc possible de s'appuyer sur ces connaissances (ou de renvoyer à ces connaissances) pour donner ces explications : en effet, la force d'attraction qui s'exerce ici sur les molécules gazeuses est régie par les mêmes lois que celles qui déterminent l'attraction entre deux corps. Dans ce cas cependant, la masse des molécules gazeuses peut être négligée par rapport à celle de la planète. C'est donc bien la masse de la planète qui est le facteur essentiel.

Le **document 3** présente une expérience classique de modélisation, réalisable avec du matériel ExAO ou avec des luxmètres analogiques. L'objectif est de montrer l'influence de la distance étoile-planète sur la température (et par conséquent sur l'état de l'eau). Le protocole n'est présenté que dans ses grandes lignes car on peut laisser aux élèves le soin de le déterminer plus précisément. Les résultats présentés ici pourront constituer un corrigé ou un document de secours dans le cas où l'expérience n'aurait pas été réalisée ou n'aurait pas donné les résultats escomptés. Pour aller un peu plus loin qu'une simple confirmation d'une notion intuitive, les résultats peuvent être traités à l'aide d'un tableur et comparés graphiquement à plusieurs fonctions mathématiques : on montre ainsi que l'énergie reçue est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source d'énergie.

Après cette étude, il devient possible de déterminer ce qu'on appelle zone d'habitabilité. Cette-ci dépend avant tout de la distance au Soleil puisque cette distance exerce une influence sur la température et donc sur l'état de l'eau. Sur Terre, l'eau peut être à l'état liquide car la température le permet. Plus près du Soleil, l'eau est à l'état gazeux (Vénus). Plus loin, c'est plutôt de la glace (Mars).

Le **document 4** permet de généraliser cette notion à l'ensemble des systèmes planétaires. En effet, selon le type d'étoile, l'énergie émise n'est pas la même et donc la zone habitable est à une distance différente. On constate que, dans le système solaire, seule la Terre est dans la zone habitable, Mars étant en lisière de celle-ci.

2. Les pistes d'exploitation

1. Mars n'a pas une masse suffisante pour retenir une atmosphère épaisse (doc. 2). La pression atmosphérique est donc faible : 1/100^e de celle de la Terre, soit 0,01 bar environ. Le diagramme montre que pour une telle pression et une température moyenne de -55 °C, l'eau est à l'état solide. Au contraire, la masse de la Terre permet la présence d'une atmosphère d'épaisseur conséquente et donc l'établissement d'une pression atmosphérique plus importante. Pour une telle pression, l'eau est à l'état liquide pour les valeurs de température moyenne rencontrées sur Terre. C'est ce qui explique l'existence d'océans sur Terre, ce qui n'est pas possible sur Mars.
2. La comparaison des graphiques montre que l'énergie reçue est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source d'énergie.
3. La recherche de traces de vie sur Mars peut se justifier car bien que Mars ne soit pas dans la zone définie comme habitable, elle en est néanmoins proche. De plus, dans le passé, les conditions sur Mars ont pu être différentes : la vie a pu y apparaître sans pour autant connaître le même succès que sur Terre. Par ailleurs, l'existence de formes de vie dans les milieux extrêmes permet de penser que cette zone habitable puisse être plus grande qu'on ne l'imagine.

La vie ailleurs dans l'Univers ? (p. 20-21)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ces conditions peuvent exister sur d'autres planètes qui possèderaient des caractéristiques voisines sans pour autant que la présence de vie y soit certaine.	Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour relier les particularités de la planète Terre à sa masse et sa distance au Soleil et définir une zone d'habitabilité autour des étoiles.

1. Les intentions pédagogiques

Cette activité, motivante pour les élèves, a pour but de montrer sur quelles bases scientifiques se fait la recherche d'une vie « extraterrestre ». Ce sera l'occasion d'exercer un esprit critique, permettant de différencier les hypothèses fondées sur des faits scientifiques de ce qui relève de la pure fiction. Les documents de cette double page ne visent pas à apporter des réponses mais plutôt à fonder un questionnement, à montrer comment s'oriente une recherche et illustreront l'état nécessairement provisoire des connaissances scientifiques.

Après avoir compris que les conditions qui règnent sur Terre sont déterminées essentiellement par des paramètres physico-chimiques, il est permis de rechercher dans l'Univers d'autres lieux qui pourraient être ou avoir été favorables à la vie.

Au cours de l'activité précédente, la planète Mars est apparue comme la plus proche, dans le système solaire, des conditions d'habitabilité. C'est en effet vers cette planète que se sont orientées et s'orientent toujours la recherche de traces de vie. Le **document 1** pose la problématique de l'état de l'eau sur la planète Mars, facteur déterminant pour la présence de vie. Les deux photographies a et b prouvent que de l'eau est bel et bien présente à proximité de la surface de Mars : elle est cependant à l'état de glace. Mise à nu, elle est immédiatement sublimée, ce qui confirme que les conditions sur Mars ne semblent pas permettre l'état liquide de l'eau. Cependant, l'image c (il est possible d'en faire rechercher beaucoup d'autres, par exemple en utilisant Google Mars, voir exercice 7, page 28) montre qu'il est très probable qu'il y ait eu, dans le passé, de l'eau liquide sur Mars.

Le **document 2** montrera que le problème est plus complexe qu'il n'y paraît. En effet, la recherche de traces de vie dans le système solaire s'oriente également vers les satellites des grosses planètes : ces corps rocheux pourraient en effet connaître des conditions propices à la vie, même s'ils sont largement en dehors de la fenêtre d'habitabilité, l'état liquide de l'eau pouvant s'expliquer par différents phénomènes. Europe, le satellite de Jupiter, possède de l'eau qui est sous forme de glace en surface : ceci est cohérent avec la distance qui sépare cet astre du Soleil. Mais ici, c'est l'effet de marée exercé par Jupiter qui pourrait entraîner la fusion de l'eau sous la surface et provoquer l'existence d'un océan liquide sous-glaciaire. Rien n'empêche alors d'imaginer des oasis de vie qui pourraient ressembler aux sources hydrothermales des fonds océaniques terrestres. À un moment ou à un autre de cette étude se posera inévitablement la question d'une définition de ce qu'on appelle la vie : la définition proposée par l'exobiologiste André Brack pourra servir de base à une telle réflexion.

La mise en évidence de planètes orbitant autour d'une étoile autre que le Soleil n'est devenue possible que depuis les années 1990 (en effet, les planètes sont peu lumineuses).

L'expérience de modélisation réalisée par ExAO présentée par le **document 3** permet de comprendre l'une des méthodes de détection des exoplanètes, la méthode du transit. Les mesures (disponibles sur le site ressources du manuel, voir ci-dessous) permettent de montrer une relation entre la taille de la planète et la baisse de luminosité engendrée par son passage devant l'étoile autour de laquelle elle est en orbite. À ce jour, 473 exoplanètes ont été mises en évidence : on comprend que de telles découvertes élargissent considérablement le champ des investigations pour la recherche d'une forme de vie !

Le système Gliese 581 présenté par le **document 4** est l'un des plus prometteurs en ce qui concerne la recherche de vie extraterrestre, puisqu'il possède des planètes situées dans la zone habitable ou proches de celle-ci. Ces planètes sont par ailleurs de taille relativement réduite, du même ordre que la Terre, ce qui permet de penser qu'une atmosphère du type de celle des planètes rocheuses du système solaire puisse y exister (et non pas une atmosphère du type de celle de Jupiter). À noter que l'illustration qui figure ici est une vue d'artiste (aucune image de ce type n'a évidemment pu être obtenue) mais elle peut aider à se représenter la réalité d'autres systèmes planétaires (l'exoplanète Gliese d n'était pas encore découverte quand cette image a été réalisée).

2. Les pistes d'exploitation

1. Les documents montrent que de l'eau est présente aujourd'hui sur la planète à l'état de glace, très proche de la surface. En contact avec l'atmosphère martienne, cette glace se vaporise : sur Mars, les conditions actuelles ne permettent pas l'état liquide de l'eau. Cependant, la présence de vallées et de canyons ne peut s'expliquer que par le phénomène d'érosion : de l'eau à l'état liquide a donc dû exister sur Mars par le passé.
2. Il est possible que de l'eau liquide soit présente sur Europe et il est presque certain qu'il y a eu de l'eau liquide sur Mars : puisque la vie dépend en grande partie de la présence d'eau à l'état liquide, il est permis de penser que des formes de vie puissent exister ou avoir existé sur ces deux éléments du système solaire. La zone d'habitabilité correspond à un éloignement de l'étoile tel que l'eau, si elle est présente, puisse être à l'état liquide. Cependant, d'autres paramètres peuvent influer sur l'état de l'eau et permettre l'état liquide, même en dehors de la zone d'habitabilité (effet de marée de Jupiter sur Europe par exemple).
3. Plus le diamètre des modèles de planètes est grand, plus la perte de luminosité est importante. Le tracé du graphique montrant la perte de luminosité en fonction de la surface du disque planétaire met en évidence une proportionnalité entre ces deux paramètres.
4. Gliese 581 étant une étoile de type naine rouge, la zone d'habitabilité est située entre 0,1 et 0,6 UA de celle-ci. Les planètes Gliese 581 c et d sont situées à des distances correspondant à cette zone. Par ailleurs, la masse de ces planètes étant de l'ordre de grandeur de celle de la Terre, on peut penser qu'elle permet de retenir une atmosphère exerçant une pression du même ordre que celle régnant sur Terre.

3. Ressources complémentaires

- La détection des exoplanètes (observatoire de Paris) :
http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_methodes-detection/impression.html
- Liste des exoplanètes connues :
<http://media4.obspm.fr/exoplanetes/base/index.php>
- Atlas des exoplanètes de la NASA :
http://planetquest.jpl.nasa.gov/atlas/atlas_index.cfm
- Exemple de résultats expérimentaux de l'expérience de modélisation du doc. 3 :
site ressources du manuel : www.bordas-svtlycee.fr

La correction des exercices 1 à 3 figure dans le manuel de l'élève, p. 254.

4 Des formes de vie extrêmes

1. Faux. Les formes de vies recherchées sont plutôt très simples, des bactéries par exemple.
2. Vrai. Même si 50 °C est une température très élevée pour la plupart des formes de vie connues sur Terre, *Thermoproteus tenax* est un organisme vivant sur Terre à une température de près de 100 °C. On peut donc inclure des planètes dont la température est de 100 °C.
3. Faux. *Deinococcus* résiste très bien aux radiations nucléaires.
4. Faux. *Sulfolobus* ne vit que dans des eaux très acides.
5. Vrai. La zone d'habitabilité correspond aux conditions « moyennes » de vie sur la Terre (températures comprises entre 0 et 40 °C, faible quantité de radiations, pH neutre...) mais certaines bactéries pouvant vivre dans des conditions différentes, dites extrêmes, des formes de vies extraterrestres pourraient exister dans des conditions comparables.

5 Exercice guidé : un monde prometteur pour la présence de vie extraterrestre ?

1. HD 189773b est de type « Jupiter chaud » car:
 - sa taille est comparable à celle de Jupiter (elle est 26 % plus grande et 15 % plus lourde) ;
 - sa température est cependant bien plus élevée (900 °C contre – 121 °C).
2. La présence d'eau (molécule indispensable à la vie) et de méthane (molécule organique pouvant provenir du vivant) dans l'atmosphère de cette planète sont des caractéristiques *a priori* favorables pour envisager la présence de vie sur HD 189773b.
3. Cependant, 900 °C est une température bien trop élevée : elle rend très improbable l'existence de vie à la surface de cette planète.

6 Des traces d'impacts météoritiques

Mercure et la Terre présentent toutes deux des cratères d'impacts météoritiques, mais ceux de la Terre sont beaucoup moins nombreux (176 au total sur la planète entière alors qu'on en voit plus de 100 sur la petite portion de Mercure photographiée ici), plus récents (2 Ga sur Terre pour les plus anciens contre 4,2 Ga sur Mercure) et moins bien conservés (alors que ceux qui sont visibles sur Mercure ont tous une forme caractéristique bien reconnaissable).

Mercure est dépourvue d'atmosphère et d'eau, ce qui explique ces différences concernant les cratères d'impact. En effet :

- sans atmosphère pour la protéger, Mercure reçoit l'impact de toutes les météorites qui se dirigent vers elle, alors que nombre de météores se consument dans l'atmosphère terrestre sans atteindre sa surface (« étoiles » filantes) ;
- sans océan, toute météorite qui fait impact laisse un cratère au sol ;
- sans eau, il n'y a pas d'érosion et les impacts restent donc visibles alors que sur Terre la plupart des cratères d'impact ont été effacés par l'érosion.

7 Vénus

1. Vénus se classe parmi les planètes rocheuses, car sa densité est élevée, sa surface et son manteau sont composés de roches.
2. Vénus est souvent qualifiée de «planète soeur» de la Terre car ces planètes sont toutes deux de nature rocheuse, elles possèdent un diamètre et une densité voisines, elles ont une atmosphère et font partie des planètes relativement proches du Soleil. En cela, cette désignation est justifiée.
3. Vénus est cependant plus proche du Soleil que la Terre et reçoit donc plus d'énergie. Cependant, ceci ne suffit pas à expliquer une température si élevée, puisque sans atmosphère la température serait de 62 °C alors qu'elle est en réalité de 470 °C. L'atmosphère de Vénus étant très épaisse (pression 93 fois supérieure à celle de l'atmosphère terrestre) et très riche en CO₂ (96,5 %), un très fort effet de serre se produit (dû également à l'acide sulfurique atmosphérique), élevant de manière très importante la température.

8 Une comparaison de paysages de la Terre et de Mars (ECE)

1. Largeur de la vallée Echus Chasma : 5 à 12 km environ selon l'endroit choisi, profondeur maximale 2 km environ (plateau à environ 1 100 m d'altitude, fond à -900 m environ).
2. Largeur de la vallée de la Green River : 750 m environ, profondeur 250 m environ (plateau à 1 450 m d'altitude, rivière à 1 200 m).
3. Les deux images (correspondant par exemple aux photos du manuel) doivent être de tailles comparables et peuvent être intitulées «vues 3D de la vallée martienne Echus Chasma et de la vallée terrestre de la Green River, obtenues à l'aide de Google Earth».

4.

	Echus Chasma	Green River
Planète	Mars	Terre
Largeur de la vallée	5 – 12 km	750 m
Profondeur de la vallée	2 000 m	250 m
Présence d'eau liquide	NON	OUI

5. Les formes des deux vallées sont comparables, bien qu'Echus Chasma soit beaucoup plus vaste. Ceci permet de penser qu'Echus Chasma a été formée quand de grandes quantités d'eau liquide coulaient sur Mars. Cette présence d'eau liquide étant un élément essentiel pour la présence de vie, on peut envisager que Mars ait pu abriter des formes de vie par le passé.

La nature du vivant

Activités pratiques

1

La matière vivante : des poussières d'étoiles (p. 32-33)

Connaissances	Capacités et attitudes
Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Leurs proportions sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant.	Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non-vivant.

1. Les intentions pédagogiques

Dans la continuité du chapitre précédent, cette première double page permet de faire le lien entre les éléments de la croûte terrestre et ceux de la matière des êtres vivants. Il s'agit ici de montrer que la matière des êtres vivants est bien entendue constituée d'éléments chimiques disponibles sur Terre, tout comme n'importe quel objet présent sur la planète. Cependant, la matière vivante possède une composition caractéristique. La croûte terrestre est elle-même issue de la différenciation de la Terre primitive, la biosphère pouvant être considérée comme le produit d'une étape de différenciation supplémentaire.

Deux aspects de la matière peuvent être comparés au cours de cette activité : la composition en éléments et l'organisation de ces éléments.

Le **document 1** prend comme exemple les minéraux d'un basalte pour étudier les caractéristiques de la matière minérale. L'utilisation d'un logiciel de visualisation de modèles de minéraux pourra permettre de faire pratiquer cette investigation aux les élèves ou de généraliser les observations faites sur la forstérite à d'autres structures minérales.

Le **document 2** complète les observations précédentes et montre la prévalence de l'oxygène et du silicium dans la croûte terrestre, en s'intéressant à l'abondance des éléments sur l'ensemble de l'écorce.

Le modèle de membrane présenté dans le **document 3** a été choisi pour sa représentativité d'un échantillon de la matière vivante. Depuis le Collège, les élèves savent que tous les êtres vivants sont constitués de cellules et l'existence de la membrane cellulaire est connue : il peut donc être intéressant d'étudier à la matière qui constitue cette membrane.

Ici, deux cents chaînes lipidiques sont juxtaposées, entourées de milliers de molécules d'eau. L'objectif est de déterminer quels atomes constituent principalement cette matière et montrer l'arrangement de ces atomes (par comparaison avec l'arrangement cristallin de la matière minérale). La notion de lipide ainsi que la composition chimique de ceux-ci n'est pas attendue. En revanche, on pourra souligner le caractère fluide de cet arrangement et l'omniprésence de la molécule d'eau. L'analyse d'un modèle

membranaire, à l'aide d'un logiciel de visualisation de molécules, montrera aussi les atomes de phosphore et dans certains cas (phosphatidyl-choline) des atomes d'azote. Là encore, l'activité peut être réalisée par les élèves ou complétée à l'aide d'un logiciel de visualisation moléculaire.

Le **document 4** utilise la même représentation que celle du document 2, pour la composition de la matière d'un être humain. Tous ces éléments ne correspondent pas uniquement à de la matière organique : la très forte teneur en oxygène est liée à la présence d'eau, le calcium et le phosphore constituent l'apatite et le carbonate des os.

2 .Les pistes de travail

1. Les atomes qui constituent ce minéral sont : le silicium, l'oxygène et le magnésium. Ils sont disposés de façon ordonnée, constituant un réseau géométrique (périodique).
2. Oxygène, silicium, aluminium, calcium, fer, magnésium, sodium, potassium.
3. Les atomes qui constituent ce fragment de matière vivante sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène (en jaune quelques atomes de phosphore). Les atomes forment des molécules agencées de façon fluide les unes autour des autres.
4. La matière vivante est constituée principalement des atomes C, H, O, N, et contient de très nombreuses molécules d'eau. Ces atomes forment des molécules disposées de façon fluide dans le milieu cellulaire. La matière minérale est formée des atomes O, Si, Al, Fe, Ca... organisés en cristaux formant des minéraux.

3. Ressources complémentaires

- En anglais : un site rassemblant des données sur la classification périodique des éléments.
On peut en particulier visualiser l'abondance des éléments dans les chondrites, dans l'océan, etc. :
<http://www.periodictable.com/Properties/A/HumanAbundance.3d.wt.html>
- Logiciel MinUSc (Minéraux à Usage Scolaire) pour la visualisation de structures minérales :
<http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/>
- Les modèles moléculaires visualisés ici sont directement téléchargeables sur le site ressources :
<http://www.bordas-svtlycee.fr>

Les molécules du vivant (p. 34-35)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ces éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants. Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau.	Mettre en œuvre un processus (analyse chimique et/ou logiciel de visualisation moléculaire et/ou pratique documentaire) pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant.

1. Les intentions pédagogiques

Dans les limites définies par le programme officiel (*«Aucune étude biochimique exhaustive n'est attendue»*), cette activité pratique permet de faire le lien entre les atomes caractéristiques de la matière vivante vus précédemment et les grandes catégories de molécules organiques connues des élèves. Conformément au programme, les tests chimiques proposés se limitent à démontrer la présence de carbone et d'eau. L'objectif n'est pas ici de caractériser spécifiquement telle ou telle matière organique.

Le **document 1** présente les trois grandes catégories de molécules du vivant, avec un modèle représentatif pour chacune. Les molécules ont été choisies pour leur familiarité (le sucre de table, l'huile d'arachide) et leur taille, permettant de faire la relation entre les atomes et les molécules qu'ils constituent en s'assemblant. L'utilisation d'un logiciel de visualisation moléculaire, ou l'exploration d'une banque de données de modèles moléculaires en ligne, pourra permettre de mener une investigation pratique ou de généraliser ces observations.

Les **documents 2** et **3** suggèrent des analyses chimiques simples de la matière vivante par combustion ou par déshydratation. Le contenu en eau de la matière vivante pourra être mis en relation avec les données du chapitre précédent concernant les conditions d'existence de la vie sur une planète.

Il serait bien sûr possible d'aller plus loin en proposant d'autres méthodes d'analyse chimique (chromatographie par exemple) mais le programme de 2^{de} étant très chargé, il apparaît suffisant de se limiter à ce premier niveau d'analyse.

2. Les pistes de travail

1. Toutes ces molécules contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. La proportion d'oxygène est plus importante dans les glucides que dans les lipides. Les protides contiennent en plus de l'azote et du soufre.
2. La présence de gouttelettes au sommet du tube, montre que la vapeur issue du tube se condense en formant de l'eau liquide. Les fumées grises traduisent la présence de particules de carbone. La couleur noire du résidu formé au fond du tube confirme l'abondance du carbone.
3. La salade est composée de 92 % d'eau et de 8 % de matière sèche. Ceci confirme que la matière vivante contient très généralement beaucoup d'eau.
4. L'eau contenue dans l'échantillon s'évapore dans un premier temps. La matière résiduelle est constituée de molécules organiques très riches en élément carbone (glucides, lipides, protides) dont la combustion incomplète donne des résidus noirâtres.

5. La matière vivante est formée principalement d'eau, puis de matière organique carbonée contenant les atomes carbone, hydrogène, oxygène, azote et soufre, organisés en molécules réparties en trois catégories principales en fonction de leurs propriétés (lipides, glucides, protides). Le fait que la matière de tous les êtres vivants présente de telles caractéristiques n'est sans doute pas dû au hasard, mais s'explique bien si l'on considère que tous les êtres vivants descendent tous d'un ancêtre commun possédant déjà ces caractéristiques.

3. Ressources complémentaires

- Banque de données de modèles moléculaires :
<http://www.librairiedemolecules.education.fr>
- Logiciels pour la visualisation de modèles moléculaires :
<http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/>
- Composition de la matière vivante (aliments) :
<http://www.afssa.fr/TableCIQUAL/>

La cellule, unité structurale du vivant (p. 36-37)

Connaissances	Capacités et attitudes
La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement.	Réaliser une préparation microscopique et/ou utiliser des logiciels et/ou organiser et recenser des informations pour distinguer les échelles : atome, molécule, cellule, organe, organisme et les ordres de grandeur associés.

1. Les intentions pédagogiques

Cette activité pratique simple vise à présenter en un ensemble cohérent les différents niveaux d'organisation du vivant. En effet, il a souvent été constaté que les élèves ont beaucoup de mal à appréhender ces différentes échelles : à ce stade, ils savent ce qu'est un organisme, ils ont déjà observé des cellules et viennent de comprendre que la matière constitutive des êtres vivants est constituée d'atomes organisés en molécules complexes. Il reste à compléter ces représentations et surtout à les relier entre elles.

Deux démarches sont envisageables :

- on peut partir de l'organisme pour aboutir à l'échelle moléculaire et retrouver ainsi ce qui a été vu au cours des deux premières activités pratiques du chapitre ;
- il est également possible de partir de l'échelle moléculaire pour montrer comment la matière s'organise successivement en cellules, organes, organisme.

Les auteurs ont opté pour la première démarche, plus facile à appréhender et plus proche de la démarche naturaliste d'observation du vivant.

Deux organismes ont été envisagés ici. Tous les documents comportent une échelle qui permettra aux élèves de faire des mesures car, comme le stipule le programme, il est souhaitable que les élèves prennent conscience de l'ordre de grandeur des tailles de ce qu'ils observent.

Des manipulations portant sur d'autres organismes ou organes pourront bien entendu être réalisées afin de généraliser ces conclusions.

Les **documents 1 et 2** portent sur l'organisation d'un être humain. L'utilisation d'une maquette anatomique démontable permet de bien mettre en évidence l'échelle des organes. Le foie a été choisi pour permettre de faire le lien entre un organe et une observation microscopique simple de ses cellules. On pourra ensuite localiser le glycogène à l'intérieur du cytoplasme des cellules hépatiques. On retrouve ainsi l'échelle moléculaire vue au cours de l'activité précédente. L'étude, avec un logiciel de visualisation moléculaire, de la molécule de glycogène peut d'ailleurs être l'occasion d'une évaluation et d'une consolidation des compétences normalement acquises précédemment. La présence de glycogène pourra être associée à l'une des fonctions du foie et reliée au métabolisme énergétique étudié au cours de la partie 3 (voir page 184 du manuel).

Les **documents 3 et 4** étendent le champ des observations précédentes aux végétaux chlorophylliens. L'élodée permet également une observation simple des cellules par les élèves. On retrouve les niveaux d'organisation vus précédemment. Le végétal chlorophyllien est aussi un support de choix pour introduire un niveau d'organisation supplémentaire qui est celui de l'organite : en effet, on observe facilement que la chlorophylle est localisée dans des structures intracytoplasmiques bien délimitées et

facilement observables. Des compléments seront apportés par l'activité 5 (pages 40-41) mais l'objectif n'est pas de faire une étude exhaustive des différents organites des cellules eucaryotes : il s'agit seulement de relever l'existence d'un niveau d'organisation intermédiaire entre l'échelle moléculaire et l'échelle cellulaire.

La présence de chlorophylle et de chloroplastes sera mise en relation avec le métabolisme de ces cellules (activité 4) et avec les conditions de la production de matière végétale (page 122).

2. Les pistes de travail

1. En plus des critères de réalisation propres au dessin d'observation ou à la capture numérique, on attend les éléments de légende suivants : membrane cellulaire, cytoplasme, noyau.
2. Le grossissement serait environ de $\times 500\ 000$. La molécule de glycogène représentée mesurerait alors 2 à 3 mm.
3. Une molécule de chlorophylle mesure environ 2 nm tandis qu'un chloroplaste mesure quelques μm . Un chloroplaste de 4 μm est 2 000 fois plus grand qu'une molécule de chlorophylle.
4. Ces deux êtres vivants sont constitués d'organes, eux-mêmes formés d'un assemblage de nombreuses cellules. Dans les cellules, on trouve des organites et un cytoplasme comportant des molécules. Les molécules ne peuvent ni se développer ni se reproduire. C'est à l'échelle des cellules que l'on retrouve les propriétés fondamentales du vivant.

3. Ressources complémentaires

- Maquettes anatomiques : Jeulin, Pierron
- Observation de cellules de foie :
<http://www.didier-pol.net/2hepato.htm>
- Cellules et échelles («cells and scale») : animation interactive (en anglais) partant d'un grain de café, jusqu'à un atome de carbone :
<http://learn.genetics.utah.edu/content/begin/cells/scale/>
- Les niveaux d'organisation du vivant (Académie d'Orléans-Tours) :
<http://svt.ac-orleans-tours.fr/php5/theme3/pcdefault.htm>
- La cellule animale (CNRS – Sagascience) :
<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doscel/accueil2.htm>
- Modèles moléculaires utilisés dans cette activité : téléchargeables sur le site ressources du manuel :
<http://www.bordas-svtlycee.fr>
- Logiciels pour la visualisation de modèles moléculaires (et la prise de mesures) :
<http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/>

La cellule, siège des réactions chimiques de la vie (p. 38-39)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur de la cellule : elles constituent le métabolisme. Il est contrôlé par les conditions du milieu et par le patrimoine génétique. - La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement. 	<p>Mettre en œuvre un raisonnement expérimental pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - montrer l'effet de mutations sur le métabolisme cellulaire et comprendre le rôle du gène ; - repérer l'influence de l'environnement sur le fonctionnement d'une cellule ; - comprendre les mécanismes d'une démonstration expérimentale : comparaisons, tests, témoins.

1. Les intentions pédagogiques

Cette activité est directement complémentaire de la précédente : après avoir constaté que la cellule est une unité structurale commune à tous les êtres vivants, il s'agit de montrer que c'est aussi une unité fonctionnelle, siège de ce que l'on appelle le métabolisme.

Un deuxième objectif, plus précis, est de montrer que le métabolisme dépend à la fois du programme génétique et de facteurs environnementaux.

Enfin, l'intérêt de cette activité est aussi méthodologique : les activités proposées ici constituent une excellente initiation à la démarche scientifique expérimentale.

Les exemples choisis correspondent évidemment à des fonctions bien précises (respiration, photosynthèse) : cependant, il ne s'agit pas du tout ici d'étudier ces divers types de métabolismes ou encore de faire la distinction entre autotrophie et hétérotrophie. Les exemples choisis ne sont que des supports pour illustrer ce que l'on appelle le métabolisme qui restera, à ce stade, défini comme un échange de matière et d'énergie.

Le **document 1** présente une expérience tout à fait réalisable en classe par les élèves. Cette première activité sera l'occasion de définir le métabolisme cellulaire et montrera un exemple de l'influence du patrimoine génétique sur ce métabolisme.

Les levures «rho -» sont mutantes : à ce stade, on définira simplement le terme de mutant par «*dont le patrimoine génétique est différent*». En effet, c'est seulement au cours du chapitre suivant (pages 58-59) que les élèves pourront comprendre en quoi consiste le phénomène de mutation (modification de la séquence des nucléotides du message génétique).

Pour information : les levures «rho -» sont incapables de respirer du fait d'une mutation du cytochrome b, impliqué dans la chaîne respiratoire mitochondriale.

Grâce à cette expérience, on montre que deux souches de levures, dont le patrimoine génétique est différent mais qui sont placées exactement dans les mêmes conditions, n'effectuent pas les mêmes échanges avec le milieu dans lequel elles se trouvent. Même si l'objectif n'est pas de qualifier le métabolisme dont il s'agit, rien n'empêche, bien au contraire, de faire constater aux élèves qu'il s'agit ici de la respiration (les élèves ont vu, dès la classe de Cinquième, que la respiration consistait en une consommation du dioxygène présent dans le milieu environnant, air ou eau).

Une expérience du même type pourrait être réalisée avec des levures «sac -», incapables d'utiliser le saccharose.

La seconde expérience (**document 2**) permet de constater que le milieu environnant peut aussi influer sur le métabolisme. Il est important ici de bien faire comprendre au départ que toutes les expériences sont réalisées avec la même souche d'euglènes (donc de même patrimoine génétique). Dans de bonnes conditions d'éclairement, les levures effectuent la photosynthèse alors qu'à l'obscurité mais en présence de glucose, ces mêmes euglènes utilisent pour leur croissance une autre voie métabolique (la respiration).

Cette expérience montre par ailleurs que le métabolisme permet la croissance de la population cellulaire (donc la reproduction de la cellule) : ceci pourra être apprécié, éventuellement par dénombrement, en utilisant des lames quadrillées.

Un autre intérêt est de montrer que la modification de la voie métabolique utilisée s'accompagne de modifications structurales : à l'obscurité, les euglènes ne meurent pas (à condition de disposer de glucose) mais perdent leurs chloroplastes. On y distingue cependant des grains de paramylon (polymère glucidique spécifique des euglènes, non colorable par l'eau iodée).

2. Pistes d'exploitation

1. La première mesure est une expérience témoin : elle sert de référence, permettant une comparaison avec les autres essais. Les cultures B et C sont placées exactement dans les mêmes conditions. Or, on constate que dans le milieu B, la concentration en dioxygène a diminué par rapport au milieu A : les levures B ont donc consommé du dioxygène. Ce n'est pas le cas des levures du milieu C : les levures mutantes ne peuvent effectuer le métabolisme réalisé par les levures B. Ceci montre donc que le patrimoine génétique gouverne le métabolisme, c'est-à-dire les échanges réalisés par les cellules et leur milieu.

2. Si l'on compare le milieu B et le milieu A, on constate qu'à la lumière les euglènes sont capables de se reproduire en absence de glucose et conservent leur couleur verte due à la chlorophylle présente dans leurs chloroplastes.

La comparaison du milieu C et du milieu B montre qu'à l'obscurité les euglènes peuvent se reproduire à condition de disposer de glucose. Elles perdent alors leur couleur verte et accumulent des réserves glucidiques.

Les mêmes euglènes, placées dans des conditions différentes, développent donc des métabolismes différents.

3. La première expérience montre qu'une levure peut consommer le dioxygène présent dans le milieu. Dans l'expérience 2, on constate que, dans certaines conditions, les euglènes ont besoin du glucose présent dans leur milieu. Les cellules effectuent donc des échanges avec leur milieu : c'est ce qu'on appelle le métabolisme.

4. Le métabolisme des cellules dépend du patrimoine génétique mais aussi des conditions environnementales dans lesquelles ces cellules sont placées.

3. Ressources complémentaires

- Levures, euglènes, matériels ExAO : Sordalab, Jeulin.
- Protocoles détaillés : site ressources du manuel :
<http://www.bordas-svtlycee.fr>

La cellule, indice d'une parenté entre les êtres vivants (p. 40-41)

Connaissances	Capacités et attitudes
Cette unité structurale et fonctionnelle commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.	Comparer des ultrastructures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants.

1. Les intentions pédagogiques

Depuis le collège (classe de Sixième), les élèves savent que l'organisation en cellule(s) fonde l'unité du vivant et est un argument de poids en faveur de l'idée de parenté entre tous les autres vivants. En classe de Seconde, il est possible d'aller un peu plus loin.

Au cours de cette activité, il est proposé une étude un peu plus approfondie de l'ultrastructure cellulaire. Cependant, l'objectif n'est absolument pas l'étude des divers organites cellulaires pour eux-mêmes. Il s'agit seulement de montrer que l'étude de quelques structures intracellulaires permet de confirmer la parenté des êtres vivants mais aussi de préciser ces relations de parenté et de fonder les premières grandes subdivisions d'une classification évolutive du monde vivant.

Deux grandes subdivisions pourront ainsi être établies : distinction entre procaryotes et eucaryotes, et, au sein de ces derniers, « lignée verte ».

Les **documents 1 et 2** ont deux objectifs : tout d'abord, présenter des organites afin de comprendre ce qu'on appelle compartimentation. Un organite sera ainsi défini comme un élément intracytoplasmique délimité par un système membranaire et possédant une fonction précise. D'autre part, on constatera que, si la quasi-totalité des cellules possèdent des mitochondries, seules certaines d'entre elles possèdent des chloroplastes. Le rôle de ces organites pourra être mentionné (d'autant qu'il complète l'étude du métabolisme cellulaire étudiée lors de l'activité précédente) mais, conformément au programme, ce n'est pas l'objectif de cette activité.

Après avoir vu l'existence de quelques organites et donc illustré la notion de compartimentation cellulaire, le **document 3** permet de montrer que certaines cellules ont une organisation plus simple, sans organites, sans compartimentation, y compris l'absence de noyau délimité par une membrane (ce qui ne signifie pas cependant absence de métabolisme ou d'information génétique). L'observation de cellules procaryotes au microscope optique ne permet certes pas ce niveau de discernement mais permettra aux élèves de compléter leur représentation de l'ordre de grandeur des structures observées : la dimension d'une cellule procaryote est à peu près celle d'un organite d'une cellule eucaryote.

Un exercice d'approfondissement (exercice 10, page 48) permettra aux élèves de comprendre l'hypothèse « endosymbiotique », susceptible d'expliquer l'apparition des cellules eucaryotes.

Le **document 4** présente sous la forme d'un tableau (matrice « taxons-caractères ») une synthèse des observations effectuées, en reprenant les organismes étudiés au cours de ce chapitre. À partir de ce tableau, il est possible de construire un arbre phylogénétique présentant les principales subdivisions du vivant. Pour laisser faire ce travail par les élèves, les auteurs ont volontairement choisi de ne pas présenter ici l'arbre : il se trouve néanmoins en schéma-bilan page 43.

N.B. : l'expression « lignée verte » a été préférée à l'expression « organismes chlorophylliens » car elle est plus rigoureuse. En effet, la possession de chlorophylle ne fonde pas un groupe monophylétique. Plusieurs endosymbioses de procaryotes chlorophylliens se sont effectuées au cours de l'évolution, conduisant à la formation de plusieurs groupes distincts (« algues brunes » par exemple).

2. Pistes d'exploitation

1. Le noyau cellulaire est un élément intracytoplasmique, délimité par une membrane et renfermant l'information génétique de la cellule. On dit que les cellules animales et végétales sont compartimentées car elles possèdent, dans leur cytoplasme, plusieurs éléments bien délimités par une membrane et ayant une fonction précise : noyau (information génétique), mitochondrie (métabolisme respiratoire), chloroplaste (métabolisme photosynthétique).
2. La cellule bactérienne du doc. 2b mesure environ 1,5 µm de long. C'est beaucoup moins (5 à 50 fois) qu'une cellule eucaryote.
3. Contrairement aux cellules eucaryotes, une cellule bactérienne n'est pas compartimentée, il n'y a pas d'organites : l'information génétique est libre dans le cytoplasme et les réactions du métabolisme se déroulent également dans l'ensemble de l'espace cytoplasmique.
4. L'organisation en cellule est un caractère commun à tous les êtres vivants : la cellule fonde l'unité du vivant et montre la parenté entre tous les êtres vivants. Au sein de ceux-ci, certains ont acquis (hérité d'un ancêtre commun) une organisation cellulaire plus complexe avec présence d'organites. Parmi ces organismes, seuls certains sont dotés de chloroplastes. Il est donc possible de constituer des groupes emboîtés ou un arbre phylogénétique (voir page 43) : monde vivant, procaryotes, eucaryotes, lignée verte.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 254.

6 Une démonstration expérimentale

Cet exercice a pour objectif de faire réfléchir à la rigueur de la démarche expérimentale : nécessité de ne faire varier qu'un seul paramètre, nécessité d'une expérience témoin. À noter que dans ces QCM, il peut y avoir plusieurs bonnes réponses. Les bonnes réponses sont donc les réponses b et d.

7 Exercice guidé : Métabolisme et condition du milieu

Le but de cet exercice n'est pas d'étudier la fermentation alcoolique mais seulement de montrer comment on peut distinguer l'existence de deux types de métabolisme différents.

1. Le métabolisme des levures est matérialisé ici par la variation de trois paramètres qui révèlent des échanges entre les cellules et leur milieu : O₂, CO₂, éthanol. D'après le graphique, on constate clairement deux périodes : 0 à 180 s, au-delà de 180 s. Chacune de ces périodes est en effet caractérisée par des variations différentes des trois paramètres, correspondant à des échanges et donc à des métabolismes différents.
2. De 0 à 180 s, les levures consomment du dioxygène et rejettent du dioxyde de carbone. Après 180 s, les levures ne consomment pas de dioxygène, rejettent du dioxyde de carbone en très grande quantité et produisent de l'éthanol.
3. Après 180 s, il n'y a plus de dioxygène dans le milieu : les levures ne peuvent donc plus en consommer. C'est probablement la cause de l'arrêt du premier type de métabolisme (respiration) et du développement d'un autre processus.

7 Minéral ou organique ?

1. Glucose, essence, méthane, cire d'abeille, huile d'olive sont des matières organiques car ce sont des molécules comportant des atomes de carbone associés à des atomes d'hydrogène. Les autres molécules sont donc minérales.
2. Les premières définitions données ici sont approximatives : par exemple, on pourrait considérer que le CO₂ puisse être d'origine vivante. Or, c'est une molécule minérale, au sens chimique du terme. En revanche, un gaz comme le méthane ou l'essence n'entrent pas dans la composition du monde vivant mais sont des molécules organiques.

9 Des macromolécules

La cellulose est une molécule constituée par la répétition, l'enchaînement, de très nombreuses molécules de glucose. Le collagène est formé par l'association de nombreuses molécules de proline et de glycine (l'acide palmitique n'entre pas dans la composition de ces deux molécules).

10 Une théorie intéressante

1. La cellule ci-contre est qualifiée de procaryote car elle ne possède pas d'organites, elle n'est pas compartimentée.
2. Cette cellule ressemble en fait à un chloroplaste : dimension comparable, présence de molécules de chlorophylle.

3. Légendes: cellule eucaryote non chlorophyllienne (membrane cellulaire, noyau, mitochondrie), bactérie photosynthétique, cellule eucaryote chlorophyllienne (membrane cellulaire, noyau, mitochondrie, chloroplaste).

11 | Une propriété de la membrane cellulaire

Il est attendu de démontrer expérimentalement que les lipides ne sont pas solubles dans l'eau et forment des gouttelettes qui ne se mélangent pas à l'eau. L'étude du modèle de membrane cellulaire montre clairement la localisation des molécules d'eau de part et d'autre d'une double couche de lipides associés « tête-bêche ».

Huile	Insoluble dans l'eau, formation de gouttelettes
Sucre	Soluble dans l'eau
Blanc d'œuf	Soluble dans l'eau

	Saccharose	Lipide	Acide aminé	Membrane
C	Oui	Oui	Oui	Oui
H	Oui	Oui	Oui	Oui
O	Oui	Oui (faible quantité)	Oui	Oui (faible quantité)
N	Non	Non	Oui	Non

La membrane est essentiellement constituée de lipides : les longues chaînes de C et H se juxtaposent parallèlement et s'associent en deux couches « fuyant » l'eau. Il se forme alors un « film » délimitant des compartiments aqueux. C'est donc l'insolubilité des lipides dans l'eau qui leur permet de jouer le rôle de membrane.

L'ADN, support de l'information génétique

Activités pratiques

1

Les enseignements de la transgénèse (p. 52-53)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel. - L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants. 	Recenser, extraire et organiser des informations pour mettre en évidence l'universalité de l'ADN.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page permet de reprendre des notions acquises en classe de Troisième sur l'information génétique chez les êtres humains et en montre l'universalité. Dans cette activité, l'élève met en œuvre des capacités qu'il travaille depuis le collège, il s'exerce sur des exemples variés qui permettent de vérifier sa compréhension de notions déjà connues. Les différentes informations extraites sont à organiser pour montrer que la transgénèse n'est pas qu'un outil utile dans de nombreux domaines mais qu'elle met aussi en évidence l'universalité du message génétique.

Le **document 1** permet, après avoir replacé dans le temps la découverte et l'utilisation du gène de la GFP, de faire la relation entre ce gène et le caractère nouveau qu'il apporte.

Le **document 2** montre qu'un gène transféré dans des espèces différentes exprime le même caractère. D'autre part, ce caractère est transmis de génération en génération et de cellule mère à cellule fille, ce qui prouve son caractère héréditaire.

Il s'agit, à travers l'exemple du gène de la protéine GFP, de montrer qu'un fragment d'ADN prélevé chez une méduse, peut être transféré chez un mammifère ou un végétal, et interprété par chaque receveur comme son propre ADN. C'est une première étape de la compréhension de la notion d'universalité de la molécule d'ADN.

L'étude de la GFP peut être l'objet d'un approfondissement (accompagnement personnalisé) quant à ses différentes utilisations dans la recherche actuelle et dans le milieu artistique (MPS).

Les **documents 3** et **4** proposent des exemples plus classiques que celui de la page 52 : la production de maïs BT et de molécules thérapeutiques.

Dans le **document 3** sont évoqués :

- certains aspects d'une technique employée dans le domaine agro-alimentaire ;
- l'utilisation d'un gène bactérien pour lutter contre les insectes parasites des plants de maïs.

Les étapes de la fabrication d'un OGM présentées ici sont des aides à la compréhension sans qu'il soit cependant nécessaire de les connaître.

Le **document 4** montre que la transgénèse est aujourd'hui testée dans de nombreux domaines. Certains de ces tests ouvrent des perspectives biomédicales intéressantes, notamment en produisant des molécules médicamenteuses.

Éventuellement, les **documents 3 et 4** pourront servir de base de discussion sur les avantages et inconvénients des OGM.

2. Les pistes d'exploitation

1. La lecture attentive et la compréhension d'un vocabulaire scientifique connu depuis la Troisième sont nécessaires à la réussite de cette activité.

La fluorescence est constatée pour toutes les cellules d'une lignée de souris. C'est un caractère héréditaire, donc dû à un gène.

2. «L'insecticide» bactérien produit par le maïs est la conséquence du transfert du gène bactérien. Ainsi, le maïs a intégré dans son génome le gène d'intérêt issu de la bactérie. Ce dernier a la même propriété que dans l'organisme dont il est issu : il permet la production d'un «insecticide» et protège le maïs de la pyrale.

3.

Document	Organisme donneur	Gène transféré	Organisme génétiquement modifié
Doc. 1	Méduse du Pacifique	Gène de la protéine GFP	Bactéries
Doc. 2	Méduse du Pacifique	Gène de la protéine GFP	Souris et racines de maïs
Doc. 3	Bactérie <i>Bacillus thuringiensis</i>	Gène contrôlant une substance «insecticide»	Maïs
Doc. 4	Homme Araignée	Gènes de protéines humaines Gènes contrôlant la production du fil de soie	Chèvre

4. Les différents transferts opérés ne peuvent être opérants que si l'organisme donneur et l'organisme receveur (OGM) «comptent» le fragment d'ADN mis en jeu de la même manière et donc sont capables d'interpréter le même type d'information génétique.

3. Ressources complémentaires

- en anglais : un site de l'université du Connecticut sur les usages de la GFP :
<http://www.conncoll.edu/ccacad/zimmer/GFP-ww/GFP-1.htm>
- Page sur la GFP, sur le site Vie
<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/gfp/gfp.html>

L'organisation de la molécule d'ADN (p. 54-55)

Connaissances	Capacités et attitudes
La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel.	Mettre en œuvre une méthode (démarche historique et/ou utilisation de logiciel et/ou pratique documentaire) permettant d'approcher la structure de l'ADN.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page propose de mettre en évidence la structure de l'ADN commune à tous les êtres vivants. L'approche privilégiée dans cette activité est une mise en parallèle du modèle actuel de la structure de la molécule d'ADN et d'éléments historiques destinés à faire réfléchir l'élève sur les étapes qui ont permis d'établir cette structure.

Il est aussi possible d'adopter une autre démarche : partir des données historiques pour montrer la construction progressive du modèle actuel par une démarche d'investigation. Cette double page favorise l'utilisation d'un logiciel de modélisation moléculaire, capacité évaluée lors de l'ECE en Terminale. Une aide est disponible p. 248 du manuel ou sur le site « outils pour les activités pratiques » (cf. présentation, p. 252). Les références à l'histoire des sciences peuvent être aussi l'occasion de discuter la construction et le statut d'un modèle.

Le **document 1** permet de rappeler les atomes principaux qui composent les macromolécules du vivant, de mettre en évidence la structure en double hélice et d'aborder comment les scientifiques ont pu construire en partie ce modèle.

L'utilisateur est incité à utiliser une visionneuse de molécule (Rasmol, Rastop, Jmol, Molusc...) à la découverte de certains caractères de la molécule d'ADN.

Le **document 2** complète les observations précédentes. De la même manière, l'élève découvre un nouveau type de molécules, les acides nucléiques.

La visualisation précédente et les différents modes d'affichages testés avec le logiciel utilisé doivent conduire à constater la répétition de motifs de base dans deux chaînes organisées en double hélice. Ces motifs sont les quatre nucléotides (désignés par la base azotée qui entre dans leur composition) : adénine, cytosine, guanine et thymine.

Une observation soignée et les résultats de Chargaff doivent permettre d'introduire la notion de complémentarité des nucléotides.

2. Les pistes d'exploitation

1. La visionneuse de molécules permet de vérifier :

- la présence de deux hélices dans le modèle d'ADN ;
- la dizaine de nucléotides constituant chaque tour d'hélice ;
- la distance approximative entre deux nucléotides successifs.

On retrouve ainsi les données du texte et donc certaines propriétés de l'ADN.

2. Les deux chaînes s'enroulent en hélice. Le schéma devra faire apparaître les deux hélices avec un code couleur et des légendes judicieuses.

3. La complémentarité des bases A/T et C/G (visualisée avec le logiciel) permet d'expliquer les résultats de Chargaff et notamment le fait que le rapport A/T ou G/C est à peu près égal à 1 chez toutes les espèces considérées.

4. Le schéma à plat, traduisant la structure de l'ADN, produit par chaque élève pourra être un peu différent selon le niveau de détails choisi pour la représentation.

En fait, le plus simple est de choisir une forme schématique théorique pour chaque nucléotide et que ces formes traduisent la complémentarité A-T et C-G.

Le langage codé de l'ADN (p. 56-57)

Connaissances	Capacités et attitudes
La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel.	Mettre en œuvre une méthode (démarche historique et/ou utilisation de logiciel et/ou pratique documentaire) permettant d'approcher la structure de l'ADN et la nature du message codé.

1. Les intentions pédagogiques

Après avoir mis en évidence l'universalité de la structure secondaire de l'ADN, l'objectif de ces deux pages est de montrer la variabilité de la structure primaire. Ainsi, on peut expliquer comment l'information est codée sans toutefois aller jusqu'au code génétique.

Les observations se situent entre espèces et entre gènes d'une même espèce avant de détailler un exemple connu : la levure.

L'outil informatique est là aussi privilégié avec une première approche de l'utilisation d'Anagène ou de GenieGen.

En comparant les ADN de trois êtres vivants très différents (bactérie, plante à fleurs, mammifères), le **document 1** doit «enfoncer» l'idée de l'universalité du message génétique.

En comparant différents gènes d'une même espèce, le **document 2** permet d'évoquer la complexité et la longueur des messages «inscrits» dans la molécule d'ADN. C'est la première étape de l'installation de la notion de séquence des nucléotides de l'ADN : la succession des bases est un langage codé.

Le **document 3** montre que les gènes peuvent se succéder le long de l'ADN d'un chromosome. Ils sont séparés par des régions plus ou moins longues dont la fonction est indéterminée.

2. Les pistes d'exploitation

1. La structure de l'ADN est commune à tous les êtres vivants. Quel que soit l'ADN étudié, on retrouve toujours la double hélice, les mêmes distances moyennes entre nucléotides, les mêmes quatre nucléotides et leur complémentarité...

En revanche, on peut noter des différences de séquence de ces nucléotides sur des fragments appartenant à des espèces différentes.

2. La comparaison met en évidence une différence de séquence de différents gènes d'une même espèce. La séquence est donc un caractère important de l'ADN, au cœur de l'information génétique. La succession des quatre nucléotides de l'ADN est un langage codé à quatre lettres.

3. Un gène doit ainsi être caractérisé par :

- sa séquence de nucléotides déterminée ;
- sa fonction, c'est-à-dire les molécules dont il contrôle la production.

4. Un être vivant unicellulaire tel que la levure de bière, apparemment d'organisation assez simple, contient plusieurs milliers de gènes différents.

Deux espèces diffèrent par la longueur de leur ADN, par le nombre et la séquence de leurs gènes, mais la structure de l'ADN et le langage codé sont identiques. Ceci explique la réussite de transferts d'ADN d'une espèce à l'autre (transgénèse).

Diversité génétique et variabilité de l'ADN (p. 58-59)

Connaissances	Capacités et attitude
La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN (mutation).	Mettre en œuvre une méthode (démarche historique et/ou utilisation de logiciel et/ou pratique documentaire) permettant d'approcher la structure de l'ADN et la nature du message codé.

1. Les intentions pédagogiques

Les différents exemples présentés dans ces pages illustrent la variabilité génétique. L'exemple des groupes sanguins souvent abordé au collège permet de stabiliser la notion de gène et d'allèles. L'étude au niveau de la séquence apporte l'origine de cette variabilité : la mutation.

Les exemples présentés dans les **documents 1** et **2** sont destinés à définir des termes utiles et reprendre les notions du collège.

Le **document 3** montre que la séquence d'un gène n'est pas immuable. Elle peut subir des mutations, c'est-à-dire des modifications brutales et imprédictibles qui peuvent, dans certaines conditions, devenir héréditaires. L'étude des groupes sanguins est le prétexte utilisé pour introduire la notion de mutation et de variabilité des gènes (existence d'allèles). D'autre part, cet exemple permet de montrer la relation entre l'information génétique et certains caractères apparents de l'Homme. Ainsi, certaines mutations du gène étudié peuvent amener la modification de l'ornementation moléculaire des globules rouges.

2. Les pistes d'exploitation

1. Un mutant est un individu qui diffère de la population dont il est issu par un caractère nouveau dont l'origine est une modification de l'ADN.
2. Les allèles d'un gène sont les différentes versions (fréquence > 1 % dans la population) de ce gène. Ils sont toujours placés à l'emplacement d'origine du gène et ne diffèrent entre eux et du gène initial que par une ou quelques modifications de la séquence des nucléotides (par exemple, quatre différences entre les allèles A et B sur un total de 1 062 nucléotides, une seule entre A et O). Ces observations sont expliquées par l'origine commune des différents allèles d'un gène et l'intervention d'un petit nombre de mutations pour passer d'une forme à l'autre.
3. Les observations confirment également la variabilité de l'ADN, même à l'intérieur de certains gènes.
4. Les différentes informations sont à tirer des différentes définitions données.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 254.

6 Des puces à ADN

- a. Exact.
- b. Inexact. Une puce à ADN est un puits portant un fragment d'ADN simple brin.
- c. Inexact. Elle permet la détection de fragments d'ADN simple brin complémentaires de ceux des puces.

7 Des bactéries productrices d'insuline humaine

- 1. Donneur = Homme.
Recepteur = bactérie *Escherichia coli*
ADN transféré = gène de l'insuline humaine.
Le gène transféré contrôle la production de l'insuline humaine, une hormone dont le déficit provoque le diabète.
- 2. Les bactéries modifiées fabriquent de l'insuline humaine : elles maîtrisent donc l'information génétique de l'Homme et l'utilisent comme la leur.
- 3. Sous contrôle de l'Homme, les bactéries modifiées se divisent très rapidement et forment des clones formés d'innombrables bactéries capables de produire l'insuline.

8 Les virus : à la limite du vivant

- 1. L'ADN viral présente les mêmes caractères que n'importe quel ADN provenant d'êtres vivants. L'intégration de cet ADN dans celui de la cellule-hôte permet à celle-ci de produire des molécules propres au virus.
- 2. C'est encore une illustration de l'universalité de la molécule d'ADN.

9 Une expérience historique

Lors de l'expérience de Griffith, de l'ADN est passé spontanément des bactéries virulentes tuées aux bactéries inoffensives vivantes. Ces dernières, disposant d'ADN leur permettant de produire une coque protectrice, sont ainsi devenues virulentes et ont transmis leur virulence à leurs descendantes.

Diversité et parenté du vivant

Activités pratiques

1

Étudier la biodiversité à l'échelle locale (p. 70-71)

Connaissances	Capacités et attitudes
La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ; mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité. - Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page montre comment une sortie sur le terrain permet de repérer les trois aspects de la biodiversité. Celle-ci s'observe facilement sur le terrain, même dans des zones urbanisées. Les documents proposés ici (en plus de ceux du guide pratique, p. 250-251) montrent ce qu'il est possible de faire lors d'une sortie sur le terrain. Il s'agit donc davantage d'éléments méthodologiques que d'exemples à étudier : chacun explorera un ou deux milieux proches de son établissement.

Les **documents 1 et 2** proposent des éléments pour étudier la flore et le sol de deux milieux.

Pour les classes n'ayant pas fait de sortie, les **documents 3 à 5** fournissent des résultats d'observation comparables à ce qui aurait pu être fait par des élèves sur le terrain.

On peut donc utiliser cette double page, soit pour préparer une sortie sur le terrain, soit pour la remplacer. La biodiversité au niveau des individus est illustrée par les orchidées, celle des espèces par les recensements des documents 3 et 4, celle des écosystèmes par les deux sites A et B.

2. Les pistes d'exploitation

1. Situation : le site A est situé sur un plateau calcaire qui domine une vallée. Le site B est situé à proximité du petit cours d'eau qui coule dans cette vallée.

Description globale : le site A est une pelouse calcaire, la végétation est rase à l'exception de quelques arbustes. Le site B est un milieu humide, sans affleurement rocheux ; les herbes sont plus hautes et des arbres sont visibles.

Sol : le sol du site A est beaucoup moins profond, il est sec et son pH est plus basique (traduisant un sol calcaire).

2. Les deux milieux contiennent une grande diversité d'espèces végétales, mais aucune n'est commune. En ce qui concerne les espèces animales, on trouve des espèces communes (pouillot véloce, agrion élégant). Le site B montre logiquement une grande richesse en libellules, qui vivent à proximité des cours d'eau.

Au bilan, on note une grande diversité spécifique dans les deux sites. Aux différences notées pour les sites A et B à la question précédente, s'ajoute une différence au niveau des peuplements animaux et végétaux.

3. Les trois orchidées photographiées appartiennent à la même espèce, mais sont cependant morphologiquement différentes. On met ici en évidence la biodiversité au niveau des individus d'une même espèce.

4. Les sites A et B montrent des différences au niveau du biotope et des espèces qui y vivent; on illustre ici une diversité des écosystèmes.

Les recensements ont permis d'identifier 18 espèces végétales et une vingtaine d'espèces animales sur les deux sites ; on illustre ici la diversité des espèces.

Les trois orchidées appartiennent à une même espèce mais diffèrent morphologiquement. Elles doivent donc également différer génétiquement ; on illustre donc enfin ici la diversité génétique.

La biodiversité à l'échelle de la planète (p. 72-73)

Connaissances	Capacités et attitudes
La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ; mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité. - Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

1. Les intentions pédagogiques

Dans cette double page, nous quittons le niveau local pour élargir le champ d'observation de la biodiversité au niveau mondial et mettre ainsi en valeur des zones et des groupes particuliers.

Les documents proposés permettent de sensibiliser les élèves sur la richesse de certaines régions du globe. Naturellement, seuls quelques exemples sont présentés ; il est néanmoins possible de faire une étude plus approfondie de ces régions en utilisant les liens disponibles sur le site ressources.

Le **document 1** est l'occasion de se rendre compte de l'extrême diversité des espèces à l'échelle du globe mais aussi de mesurer l'immensité de la biodiversité qu'il nous reste encore à découvrir. Le **document 2** permet, si l'on le souhaite, de discuter des notions de diversité et de disparité. En effet, si le groupe des bactéries semble être le plus diversifié, en terme de nombre d'espèces, sa disparité est assez faible comparée à celle des insectes. En effet, la ressemblance morphologique entre les différentes espèces de bactéries est bien plus forte que celle constatée chez les insectes. Les différences génétiques n'ont pas toujours de grandes répercussions morphologiques.

Les **documents 3** et **4** mettent l'accent sur des écosystèmes particuliers soit par leur exceptionnelle richesse en espèces animales et/ou végétales, soit par la présence d'un nombre important d'espèces endémiques qu'il est indispensable de protéger.

2. Les pistes d'exploitation

1. Ce document montre une grande inégalité de la biodiversité selon les groupes d'êtres vivants, avec une très large prédominance des insectes et myriapodes sur les autres, notamment les vertébrés. De plus, on voit que de très nombreuses espèces restent encore à découvrir, 10 % des espèces seulement ayant été nommées aujourd'hui selon les estimations.

2. En nombre d'espèces, le groupe des insectes semble être le plus diversifié avec entre 10 et 30 millions selon les estimations. Cependant le groupe des bactéries pourrait représenter plus que le million d'espèces présumé. En effet, si 30 grammes de sol contiennent 500 000 espèces, la diversité mondiale totale pourrait être phénoménale et dépasser de loin celle des insectes.

3. Certains écosystèmes méritent une attention particulière. Certains possèdent une biodiversité phénoménale comme les forêts équatoriales. De plus, de nombreuses espèces présentes dans ces forêts restent encore à découvrir et ne sont présentes nulle part ailleurs.

Les écosystèmes planctoniques ajoutent à cette richesse un rôle fondamental dans la biosphère : ils sont au départ de presque toutes les chaînes alimentaires océaniques et absorbent de grandes quantités de CO₂.

Activités pratiques

3

Au sein de la biodiversité, des groupes d'êtres vivants (p. 74-75)

Connaissances	Capacités et attitudes
Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune. Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.	<ul style="list-style-type: none">- Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés.- Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et/ou fossiles.

1. Les intentions pédagogiques

Les deux doubles pages 74 -75 et 76 -77 permettent de comprendre comment, au sein de la biodiversité, on peut regrouper des espèces au sein de l'unité taxonomique des vertébrés. Il ne s'agit pas, au niveau de la classe de Seconde, de faire différents groupes au sein des vertébrés (amniotes, tétrapodes...) mais bien d'identifier des caractères communs aux vertébrés. Cette identification passe par l'observation de caractères partagés par les vertébrés (polarités, symétrie, crâne, vertèbres : c'est l'objet des pages 74 et 75) mais aussi par la dissection de différents animaux qui permet de découvrir des plans d'organisation communs et, comme le demande le programme, de les comparer à un extragroupe, arthropode ou échinoderme par exemple (c'est l'objet des pages 76 et 77). Tout arbre phylogénétique au sein du groupe des vertébrés est donc hors programme.

En ce qui concerne la première double page (74-75), les **documents 1 et 2** présentent un certain nombre de points communs au niveau des polarités et symétrie ainsi qu'au niveau du squelette.

Les **documents 3 et 4** insistent sur un caractère particulier : la colonne vertébrale formée de vertèbres. Ce caractère est en effet celui qui définit le groupe des vertébrés. Les autres caractères communs aux vertébrés sont également partagés par d'autres espèces et ne peuvent donc pas être retenus pour définir le groupe. Ces points seront repris dans la double page suivante pour définir des liens de parenté.

Le **document 4** permet de comprendre pourquoi tout fossile présentant ce caractère exclusif peut être classé au sein des vertébrés.

2. Les pistes d'exploitation

1. Deux polarités s'observent chez tous ces animaux :

- une polarité antéro-postérieure, l'animal s'organise entre un pôle antérieur (le crâne) et un pôle postérieur (la queue);
- une polarité dorso-ventrale, l'animal s'organise entre un pôle dorsal (vertèbres) et un pôle ventral (les côtes).

On observe de plus une symétrie bilatérale. Le plan de symétrie est défini par les deux axes précédents et on note de nombreux organes pairs (pattes ou nageoires, côtes, orbites...).

2. La colonne vertébrale formée de vertèbres suit l'axe antéro-postérieur en position dorsale. L'organisation est similaire chez les différents vertébrés avec un canal permettant le passage de la moelle épinière et des prolongements osseux. On pourra noter que les deux polarités et la symétrie définies à la question précédente se retrouvent au niveau des vertèbres.

3. L'os de *Cetiosaurus* ressemble beaucoup à une vertèbre. On peut donc classer l'animal parmi les vertébrés.

Une colonne vertébrale est visible sur le squelette du *Megatherium*, lui aussi est donc un vertébré.

Le groupe des vertébrés existait donc déjà il y a 170 millions d'années (l'âge de *Cetiosaurus*), son origine est donc encore plus ancienne.

Le regroupement d'êtres vivants traduit une parenté (p. 76-77)

Connaissances	Capacités et attitudes
Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune. Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés. - Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et/ou fossiles.

1. Les intentions pédagogiques

Le programme invite à « *mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés* ».

Il est ainsi possible de faire disséquer les organes abdominaux de différents vertébrés. Les auteurs ont choisi cependant de ne s'intéresser qu'au système nerveux antérieur car, d'une part, cela suffit pour retrouver un même plan d'organisation chez ces différents vertébrés, d'autre part, sur un manuel, les photographies sont plus faciles à comparer que la dissection d'un animal entier.

Le **document 1** propose un protocole pouvant convenir à n'importe quel vertébré (le professeur pourra donc faire disséquer l'un des quatre exemples proposés dans le manuel puis ensuite comparer avec les photos proposées dans cette double page).

Les observations faites sur la dissection ou sur les photographies des animaux non disséqués (**document 2**) permettent de mettre en évidence une organisation interne comparable à l'externe (deux axes de polarité et symétrie bilatérale) mais aussi d'un plan d'organisation commun : on trouve les mêmes différentes parties des centres nerveux antérieurs chez tous les vertébrés, placées dans le même ordre sur l'axe antéro-postérieur, même si leur importance relative varie d'un vertébré à l'autre.

Le **document 3** aborde les notions de caractère exclusif et d'ancêtre commun. Il est alors possible de discuter de parenté, de réaliser des arbres phylogénétiques ou d'en lire. Un exercice supplémentaire de type « utilisation des capacités expérimentales » est proposé sur le site ressources. Il utilise comme support le logiciel Phylogène développé par l'INRP. On pourra ainsi le proposer selon les choix du professeur à des élèves ne souhaitant pas disséquer ou en complément de la dissection.

2. Les pistes d'exploitation

1. Le système nerveux est situé en position dorsale. Il présente une polarité antéro-postérieure avec un cerveau en position antérieure et une moelle épinière qui s'étire vers le pôle postérieur. Il présente également une polarité dorso-ventrale (peu visible sur les documents proposés) et une symétrie bilatérale marquée entre autres par les hémisphères cérébraux.

2. Les différents systèmes nerveux présentent tous les polarités et symétries décrites précédemment. Le cerveau est toujours protégé dans un crâne en position antérieure et une moelle épinière s'étend toujours vers l'arrière. Les centres nerveux antérieurs présentent les mêmes différentes parties (hémisphères cérébraux, cervelet, bulbe rachidien) et elles sont placées dans le même ordre sur l'axe antéro-postérieur, même si leur importance relative varie d'un vertébré à l'autre.

Des nerfs partent de part et d'autre du système nerveux et se dirigent vers les différents organes (organes sensoriels, muscles...).

3. Tous les vertébrés possèdent des éléments communs (crâne, polarités, symétrie, système nerveux...). Ces caractères partagés suggèrent une origine commune, donc un ancêtre commun. Un caractère se distingue des autres : la présence de vertèbres. En effet, seuls les vertébrés en possèdent. Ce caractère exclusif définit donc un lien de parenté fort entre les différents vertébrés, plus fort qu'avec n'importe quelle autre espèce actuelle ou fossile. Les vertèbres sont donc apparues avec l'ancêtre commun à tous les vertébrés.

La correction des exercices 1 à 4 figure dans le manuel de l'élève, p. 254-255.

5 Explorer la biodiversité sur le terrain

1. Pour le premier milieu :

- a. Vrai. La zone d'observation doit être représentative du milieu et donc contenir les espèces dans des proportions équivalentes à l'ensemble.
- b. Faux. On ne compte pas le nombre de plantes (qui peut être très important), mais on attribue un indice fonction de la surface recouverte ; de plus, il vaut mieux éviter de cueillir des plantes pour ne pas risquer de dégrader le milieu.
- c. Vrai. Des photos peuvent permettre de préciser les identifications, de faire des comparaisons entre différents individus, elles pourront par ailleurs illustrer un éventuel compte-rendu.

2. Pour le deuxième milieu :

- a. Faux. Les têtards sont des larves d'amphibiens appartenant à des espèces protégées. Ils doivent donc être relâchés. Comme on ne connaît pas toutes les espèces protégées, il est conseillé d'adopter cette attitude avec toutes les espèces animales rencontrées.
- b. Vrai. La localisation est utile, et les photos remplacent la capture d'un individu.

6 Classement d'une espèce

1. La photographie **a** montre une polarité antéro-postérieure et une symétrie bilatérale. On remarque un crâne, une colonne vertébrale et des côtes. Sur la photographie **b**, on voit une polarité dorso-ventrale et une symétrie pentaradiée.
2. La photographie **a** représente un vertébré car il y a présence de vertèbres. Pour la seconde, les vertèbres ne sont pas visibles, et, de plus, il n'y a pas de symétrie bilatérale. Ce n'est donc pas un vertébré.
3. L'Homme est un vertébré, il possède des vertèbres. Il est donc plus proche parent de l'espèce représentée sur la première photographie.

7 Des enseignements de l'Histoire

1. La reproduction asexuée donne des individus identiques génétiquement à la plante mère car les tubercules sont des organes de cette dernière. Ce mode de reproduction ne favorise donc pas une grande diversité génétique.
2. En Amérique du Sud, la diversité intraspécifique est plus forte avec des individus très différents, présentant des caractéristiques différentes. Une attaque du mildiou aurait causé des dégâts, mais certains individus auraient présenté des résistances au mildiou, et auraient survécu. En Europe, l'uniformité génétique a fait que tous les individus présentaient la même réponse face au mildiou : pas de résistance.

8 Gestion de la biodiversité d'un site

1. Les saulaies et roselières, qui étaient absentes ou presque en 1998, se sont considérablement développées pour occuper presque la moitié du site en 2003. À l'inverse, les prairies inondables sont passées de 17 à 1,9 hectares dans le même temps. Le milieu a donc beaucoup changé avec l'arrêt des interventions humaines.

2. Saulaie et roselière contiennent peu d'espèces par rapport à la prairie inondable (7 et 8 contre 28). La biodiversité du site va donc chuter avec la disparition des prairies. De plus, ces dernières contiennent des espèces rares et protégées comme la gratirole ou le cuivré des marais.

3. Pâturage et fauche permettront de limiter le développement des saules et des baldingères. Sans cela, ces deux espèces ont tendance à tout envahir. L'entretien des fossés visera à maintenir chaque hiver une immersion du site nécessaire à l'implantation de certaines espèces.

La biodiversité en perpétuelle évolution

Activités pratiques

1

Un exemple de biodiversité ancienne (p. 88-89)

Connaissances	Capacités et attitudes
La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.	Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

1. Les intentions pédagogiques

La biodiversité comprend une dimension temporelle dans sa définition, elle doit en effet impérativement être liée à une époque. Ainsi, la diversité visible aujourd’hui est différente de celle qui existait dans le passé et de celle qui existera dans le futur. Il y a donc une évolution du vivant. Le choix fait au début de ce chapitre est de montrer par un exemple concret qu’un même lieu peut contenir des espèces différentes au cours de son histoire. Le site de Cherves de Cognac est remarquable pour cela car il a livré des quantités phénoménales de dents de vertébrés permettant de faire des analyses quantitatives. L’étude des milieux anciens de Cherves a ainsi pu se faire avec les mêmes méthodes que pour un milieu actuel. L’autre intérêt de ce site est la possibilité de faire travailler concrètement les élèves sur du matériel en classe.

Les activités proposées sur cette double page peuvent être réalisées par les élèves sur du matériel concret. Le **site ressources** contient toutes les informations relatives au kit pédagogiques développé à partir des marnes de Cherves (voir ci-après). L’objectif ici est de repérer des espèces à partir de leurs dents, puis de reconstituer le milieu existant à Cherves, il y a 140 millions d’années. On peut donc comparer la biodiversité de ce milieu à deux époques différentes au niveau des espèces et des écosystèmes. On voit bien alors que des espèces ont disparu et d’autres sont apparues ; on voit également que le milieu a radicalement changé. Enfin, on peut noter que les espèces présentes à Cherves, il y a 140 millions d’années, ont aujourd’hui complètement disparu de la surface du globe.

La biodiversité est donc une photographie de la vie à un instant donné.

2. Les pistes d’exploitation

- Sur la photographie, on repère des dents de requin et de poissons osseux du type *Lepidotes*. On voit également des fragments d’os et des écailles.

2. La présence de poissons osseux et cartilagineux indique un milieu aquatique, de même que les crocodiliens. Les espèces présentes supportent des eaux douces ou saumâtres, on peut donc penser à un milieu mixte subissant des influences d'eaux douces et marines. Ce peut être un delta ou un estuaire. La proximité d'un rivage est renforcée par la présence d'animaux terrestres comme les mammifères ou les dinosaures. On a donc un milieu très différent de l'actuel avec des espèces elles aussi très différentes.

3. Ressources complémentaires

- Kit pédagogique (Marnes de Cherves) : site ressource du manuel : www.bordas-svtlycee.fr

Activités pratiques

2

L'Homme, facteur d'évolution de la biodiversité (p. 90-91)

Connaissances	Capacités et attitudes
La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.	Prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.

1. Les intentions pédagogiques

La mise en évidence de l'évolution de la biodiversité au cours du temps est suivie par celle de l'action de l'Homme. Les exemples de conséquences négatives sur la biodiversité (espèces menacées de disparition ou disparues du fait des activités humaines) sont multiples et bien connus (le **document 2** le montre sans ambiguïté). Le **document 1** propose l'histoire de deux espèces disparues de façon spectaculaire, c'est-à-dire très rapidement et à partir de populations initiales très abondantes. Des recherches complémentaires pourraient porter sur des actions plus indirectes que la chasse, avec l'urbanisation, l'agriculture ou autre.

Le rôle de l'Homme dans l'apparition de nouvelles espèces en un lieu donné n'est souvent connu que par le seul volet « introduction d'espèces invasives » (jussie, grenouille taureau...). Le **document 2** fait état de ces invasions et le cas des frelons asiatiques est présenté page 80.

Or, naturellement, il ne s'agit pas dans ce cas d'apparition d'espèces nouvelles mais leur simple déplacement dans l'espace. La formation de nouvelles espèces sensu stricto est plus délicate à mettre en évidence. Le **document 3** présente un exemple, bien documenté, de l'apparition actuelle d'une nouvelle espèce dans un milieu créé par l'Homme.

On peut ainsi à partir de ces documents montrer que l'action de l'Homme sur la biodiversité s'exerce à tous les niveaux, même si le bilan global reste celui montré par le **document 2** : une baisse de cette biodiversité.

2. Les pistes d'exploitation

1. L'ectopiste migrateur et la tortue de bourbon étaient des espèces florissantes comprenant de très nombreux individus. Aucune menace de disparition n'existe. C'est la chasse réalisée par l'Homme qui a fait baisser de façon importante les effectifs et a conduit ces deux espèces vers un seuil critique ne permettant plus le renouvellement naturel. Elles ont donc disparu sous la pression de la chasse.
2. Les écosystèmes subissent des modifications importantes du fait des activités humaines. Le document 2 montre que, au cours du dernier siècle, le rythme des disparitions d'espèces en France s'est considérablement accru. En parallèle, de nouvelles espèces sont arrivées, introduites volontairement ou non. Le peuplement des écosystèmes français a donc changé du fait des activités humaines.
3. Les deux formes montrent un éloignement génétique illustré par le graphique, mais ce critère ne suffit pas pour en faire deux espèces différentes. Plus intéressante est l'incapacité à se reproduire. Sans cette interfécondité, les deux formes ne peuvent plus être considérées comme faisant partie d'une seule et même espèce.
4. Les activités humaines sont un des facteurs qui agissent sur la biodiversité. Des espèces disparaissent régulièrement naturellement du fait de modifications du milieu (climat, ressources...). Les activités humaines, en modifiant ce milieu contribuent à ces disparitions. Le côté préoccupant est la très forte accélération du rythme des disparitions. De la même façon, les invasions d'espèces sont facilitées par le développement des transports, le creusement de canaux, le commerce de plantes ou d'animaux.
Enfin, la modification des milieux peut avoir comme conséquence de favoriser l'évolution de certaines espèces et donc concourir à l'apparition de nouvelles espèces.
L'Homme est donc un facteur d'évolution de la diversité du vivant.

Dérive génétique et biodiversité (p. 92-93)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces. 	<ul style="list-style-type: none"> Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique. Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.

1. Les intentions pédagogiques

Les mécanismes génétiques à l'origine de l'évolution du vivant (dérive génétique et sélection naturelle) sont présentés dans les activités 3 (p. 92-93) et 4 (p. 94-95). Pour chacun de ces mécanismes, l'organisation de la double page est la même : étude de documents pour comprendre ce que recouvre la notion et modélisation à l'aide d'un jeu. Cette modélisation, facilement réalisable en classe, présente l'avantage d'accrocher facilement les élèves. Il est cependant possible de la remplacer ou de la compléter avec un logiciel de simulation présenté page 103 pour la dérive génétique (et également sur le site ressources pour la sélection naturelle). Le manuel peut donc ainsi être utilisé de multiples façons pour présenter dérive génétique et sélection naturelle.

La première double page est donc consacrée à la dérive génétique : c'est une notion assez complexe, mais les programmes officiels ne demandent d'en aborder que deux aspects :

- la dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles ;*
- elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible.*

Les **documents 1** et **2** permettent d'évoquer la perte de la diversité allélique dans les petites populations. Pour montrer ensuite l'évolution aléatoire des allèles au sein d'une population, on peut soit utiliser le graphique du **document 3**, soit faire réaliser le jeu présenté dans le **document 4**, soit utiliser le logiciel « Evolution allélique » présenté page 103 (ainsi que sur le « site ressources » pour téléchargement). Les trois méthodes peuvent être complémentaires ou réparties au sein de la classe pour montrer que le résultat final est le même.

2. Les pistes d'exploitation

1. Les documents 1 et 2 montrent que la diversité allélique au sein d'une grande population ne diminue pas avec le temps mais qu'en revanche elle diminue considérablement dans les petites populations.

L'expérience de Dobzhansky (document 3), réalisée sur de grandes populations de départ, montre que la fréquence de l'allèle PP au bout de 500 jours est comprise entre 25 et 40 % selon la population considérée. En revanche, avec des petites populations de départ, cette même fréquence va de 17 à 47 %. L'écart est donc plus grand, ce qui signifie que des petites populations isolées deviennent de plus en plus différentes les unes des autres au cours du temps. La dérive génétique est donc plus forte.

2. Les résultats du jeu doivent montrer que les « gagnants » du jeu peuvent être n’importe quelle couleur, sans véritable prédominance. Ces résultats sont donc dus au hasard. L’évolution d’une petite population peut donc se faire totalement au hasard si les individus ne présentent entre eux ni avantage ni désavantage.

3. Si une petite population s’isole, la dérive génétique devient plus forte en son sein. Elle évolue donc rapidement, au hasard et peut donc devenir très différente de la population de départ. Quand ces différences sont trop importantes pour permettre le maintien de l’interfécondité, il y a création de nouvelles espèces.

3. Ressources complémentaires

- Logiciel « Évolution allélique » : site ressource du manuel :
www.bordas-svtlycee.fr

Sélection naturelle et biodiversité (p. 94-95)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. - La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique. - Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.

1. Les intentions pédagogiques

La sélection naturelle est une notion déjà abordée en classe de Troisième. Le programme de cette classe indique :

L'étude de quelques exemples significatifs doit notamment permettre :

- d'atteindre un premier niveau de formulation de la théorie de l'évolution des organismes vivants au cours des temps géologiques présentée sous la forme d'un arbre unique ;*
- de donner un aperçu de la théorie expliquant ces faits : variation aléatoire due aux mécanismes de l'hérédité puis sélection par le milieu des formes les plus adaptées ;*

L'exemple choisi en Troisième, qu'il s'agisse de la phalène du bouleau ou d'un autre exemple, est toujours un exemple qui permet d'expliquer et de comprendre comment l'environnement influe sur l'évolution des espèces et des populations en sélectionnant les individus les plus adaptés.

Or, il ne s'agit pas là du seul aspect de la sélection naturelle : de façon simplifiée, celle-ci désigne le fait que les traits qui favorisent la survie et la reproduction, voient leur fréquence s'accroître d'une génération à l'autre. Cela découle logiquement du fait que les porteurs de ces traits ont plus de descendants, et aussi que ces derniers portent ces traits (puisque ils sont héréditaires).

Ainsi, deux mécanismes principaux peuvent concourir à cette «transmission préférentielle» des allèles favorables à la descendance :

- la sélection par le milieu* (nourriture, prédation...) ou **sélection de survie**, illustrée par l'exemple des études récentes sur les pinsons des Galapagos (p. 94) qui, finalement, diffère peu de la phalène du bouleau vue en troisième ;
- la sélection sexuelle*, aspect de la sélection naturelle souvent ignoré mais qui est bien à l'œuvre dans le monde vivant et tout aussi important que la sélection de survie.

La sélection sexuelle est un phénomène qui a lieu à une étape différente de la vie de l'individu. Elle désigne le fait qu'il existe une compétition au sein de chaque espèce pour accéder aux partenaires sexuels dans le cadre de la reproduction sexuée : il peut se produire une compétition entre les individus d'un même sexe (combats de mâles chez le cerf pour accéder aux femelles, mâles dominants chez les espèces présentant une organisation sociale...), mais aussi entre les sexes (les individus d'un sexe devant choisir avec quel individu de l'autre sexe ils vont s'accoupler).

Cet aspect de la sélection naturelle est développé dans l'exercice 8, page 102 : la grande queue du mâle *Euplecte*, caractère qui pénalise la survie quand il est analysé en dehors

du contexte reproductif, devient un avantage considérable pour accéder aux femelles quand il est analysé dans le contexte de la période de reproduction.

Ainsi, le professeur pourra utiliser cet exercice en même temps que le travail sur les pages 94-95 pour ne pas passer sous silence ce deuxième aspect de la sélection naturelle. Comme pour la dérive génétique, on pourra s'appuyer sur l'analyse de documents, sur une modélisation par le jeu et/ou l'utilisation d'un logiciel de simulation. Pour ce dernier, présenté page 103 avec la dérive génétique, il faudra utiliser le site ressources qui contient les informations nécessaires pour traiter de la sélection naturelle.

2. Les pistes d'exploitation

1. Parmi les aspects de la biodiversité, il y a la diversité génétique des individus. L'allèle « grand bec » du gène Bmp4 n'est pas possédé par tous. Il est donc logique de trouver dans une population des individus présentant des becs de tailles variées.

2. La sécheresse de 1976-1977 a eu comme conséquence une forte augmentation des pinsons à gros bec aux dépens de ceux à petit bec. On voit sur le graphique de gauche que durant cette période sèche, la taille et la dureté des graines augmente ; or, les pinsons à petit bec ne sont pas capables de manger ces graines. Il est donc logique que leur population décroisse : ils sont désavantagés.

Après la sécheresse de 2004-2005, la situation s'inverse avec une chute de la population des pinsons à gros bec. Cette fois, c'est une colonisation de l'île par une espèce spécialisée dans les grosses graines qui est en cause. Les pinsons à gros bec, sont peu compétitifs par rapport à cette espèce vis-à-vis des grosses graines. Ils ne peuvent pas se retourner vers les petites graines, car cette fois, c'est par rapport à leurs congénères à petit bec qu'ils ne sont pas compétitifs. Leur population ne peut donc que décroître.

3. La multiplication par deux des descendants des clous verts modélise l'avantage sélectif possédé par les individus géniteurs. Ils peuvent plus facilement se nourrir, échapper aux prédateurs et trouvent plus facilement un partenaire sexuel. Leur descendance est donc plus importante.

À l'inverse, les individus matérialisés par les clous violets ont un désavantage sélectif, leur descendance est donc plus faible.

4. À un instant donné, on peut observer un certain nombre d'espèces sur Terre. Pour une espèce, il existe différentes populations où la variabilité génétique est visible. Sur des populations isolées, dérive génétique et sélection naturelle vont modifier les fréquences des allèles (l'une au hasard, l'autre sous la pression sélective du milieu). Ces populations s'éloignent donc progressivement de la population de départ jusqu'à représenter une nouvelle espèce. Ces créations de nouvelles espèces ajoutées aux disparitions d'espèces anciennes modifient en permanence la biodiversité. La biodiversité observée aujourd'hui n'est donc qu'une étape de l'évolution qui se poursuit encore.

3. Ressources complémentaires

- « Logiciel allélique » : site ressources du manuel :
www.bordas-svtlycee.fr

La correction des exercices 1 à 4 figure dans le manuel de l'élève, p. 255.

5 | Expérimenter sur l'évolution des espèces

1. Première expérience

- Vrai. L'objectif est de suivre l'évolution de la fréquence des allèles (il faut donc que ce paramètre soit mesuré régulièrement).
- Faux. Si les populations sont homogènes (un allèle représente 100 %), on ne verra pas de variation de cette fréquence (on doit donc avoir une valeur initiale différente de 0 ou 100).
- Faux. La dérive génétique suppose qu'il n'y ait pas d'allèle favorable ou défavorable et que seul joue le hasard (on doit donc placer les populations dans des conditions identiques pour laisser les populations évoluer au hasard).

2. Seconde expérience

- Faux. Une cage témoin sert de point de comparaison, pour vérifier que la lumière modifie bien la répartition des allèles dans les populations.
- Vrai. On cherche à repérer s'il y a eu une évolution de cette fréquence et si oui, dans quelle direction.
- Vrai. Sinon on ne pourra pas comparer les résultats finaux obtenus pour les différentes cages.

6 | Évolution de populations d'oiseaux

- Sur le graphique du haut, on constate que la diversité des oiseaux en Grande-Bretagne diminue assez peu au cours du temps ; en revanche, si on regarde seulement les oiseaux des champs cultivés, cette diversité a chuté de façon importante depuis 1975. Sur cette même période, on peut observer une augmentation des surfaces des champs traités aux pesticides. Les deux courbes sont synchrones et ont des pentes inverses. On peut donc postuler que l'utilisation de plus en plus importante des pesticides dans les champs a eu un impact négatif sur les populations d'oiseaux qui y vivent, d'où la baisse de diversité constatée.

7 | L'évolution des espèces insulaires

- Quelles que soient les espèces considérées, la diversité génétique est plus forte sur les continents que celle constatée sur les îles.
- Les populations insulaires sont issues de petites populations qui y ont migré. Elles ne représentent donc qu'une fraction de la diversité génétique de départ.
- Les espèces qui arrivent sur ces îles ne représentent que de faibles populations. La dérive génétique va donc y être forte et expliquer une évolution rapide de ces espèces.

8 | Avantage reproducteur et sélection naturelle.

- Le graphique du bas montre que les mâles à longue queue ont un succès reproductif plus important : ils attirent davantage de femelles sur leur territoire que les mâles à queue plus courte. On peut supposer que les femelles choisissent les mâles ayant les plumes de la queue les plus longues. Par conséquent, les individus porteurs d'allèles

responsables d'un allongement de ces plumes auront une descendance plus importante et la fréquence de ces allèles va donc augmenter dans la population.

2. On parle de sélection sexuelle car la sélection est faite par les femelles au cours des périodes de reproduction. Le choix du partenaire sexuel constitue la pression sélective exercée sur les individus.

3. Les étapes sont les mêmes :

- Existence dans la population d'une variabilité génétique : les individus montrent de petites différences entre eux (forme du bec ou taille des plumes de la queue).
- Pression exercée sur les individus : par le milieu pour les pinsons avec la taille des graines disponibles, par la reproduction pour les euplectes avec le choix du partenaire sexuel effectué par les femelles.
- Un allèle se révèle présenter un phénotype favorable : gros bec ou longues plumes.
- Les individus porteurs de cet allèle se reproduisent plus car ils survivent mieux (pinsons) ou sont plus choisis par les femelles (euplectes).
- La fréquence de cet allèle dans la population à tendance à augmenter à la génération suivante.
- Le phénomène se répète et cause une modification de l'espèce : augmentation de la forme du bec ou allongement des plumes de la queue.





Partie 2

Enjeux planétaires contemporains

Chapitre 1	Le soleil, source d'énergie de la biosphère	73
Chapitre 2	Le défi énergétique : du non renouvelable au renouvelable ...	82
Chapitre 3	Nourrir l'humanité : un défi pour le XXI ^e siècle	91
Chapitre 4	Les sols, enveloppes vivantes et fragiles	100

2 Enjeux planétaires contemporains

Les objectifs généraux de cette partie

Selon les textes officiels, les trois grandes parties du programme de la classe de 2^{de} doivent être abordées d'une manière équilibrée. Il apparaît donc raisonnable de consacrer un tiers du temps annuel à cette deuxième partie. Le manuel propose une large palette d'activités qui s'inscrivent dans les objectifs précisés par le programme : cependant, toutes ces activités ne sont pas obligatoires et il sera nécessaire de faire des choix, de façon à ménager le temps nécessaire pour traiter les deux autres parties du programme. On peut par exemple choisir d'illustrer telle notion par une activité pratique expérimentale alors qu'une autre notion sera simplement et plus rapidement exposée. Cette liberté pédagogique du professeur est du reste spécifiée par le préambule du programme.

Le thème « **Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol** » s'inscrit clairement dans l'Éducation à l'Environnement pour un Développement Durable. Placée face au défi de la croissance démographique, l'humanité doit, pour satisfaire son développement et celui des générations futures, exploiter des ressources tout en tenant compte du patrimoine naturel. Deux aspects sont envisagés en classe de Seconde : le défi énergétique et la gestion des sols. Les aspects géopolitiques et économiques étant laissés au cours de géographie et d'économie, le cours de SVT doit donner à l'élève les clés biologiques et géologiques pour comprendre les enjeux du défi lancé à l'humanité : passer des énergies non renouvelables aux énergies renouvelables pour pérenniser le développement des sociétés humaines et protéger les sols cultivables afin de produire l'alimentation d'une humanité sans cesse croissante. L'éclairage spécifique des SVT sur ces grandes questions réside dans la compréhension de la notion de durabilité des ressources. Pour comprendre en quoi la gestion d'une ressource naturelle est nécessaire, pour comprendre pourquoi une ressource est fragile, renouvelable à l'échelle humaine ou non, il convient en effet d'en connaître l'origine, le mode de formation (notion de durée) et les modalités d'utilisation. Enfin, c'est en constatant l'écart existant entre les gisements utilisables et les ressources réellement utilisées que l'élève perçoit l'importance des sciences, indispensables pour rechercher des solutions nouvelles. L'abord de ces problématiques nécessite des connaissances de collège (classe de sixième principalement) sur l'origine et le devenir de la matière des êtres vivants. Ces acquis peuvent être rapidement remobilisés grâce à la double page 106-107.

Cette thématique prépare à l'exercice des responsabilités individuelles, familiales et sociales et constitue un tremplin vers les métiers qui se rapportent à l'environnement et aux sciences fondamentales.

Cette partie du programme permet de développer un certain nombre de compétences :

- **Des connaissances** : l'approche des ressources énergétiques permet de fournir des connaissances de base sur la photosynthèse (équation bilan), permet de comprendre l'origine des combustibles fossiles, des courants atmosphériques et océaniques ; l'étude des sols permet de remobiliser les connaissances de collège et amène des connaissances géologiques sur les processus de formation du sol. Ces connaissances restent modestes, il convient uniquement de comprendre qu'un sol se forme lentement mais peut être dégradé rapidement.

- **Des capacités** : cette partie du programme permet de pratiquer les étapes essentielles de la démarche d'investigation : observation, questionnement, formulation d'hypothèses, expérimentation, raisonnement, communication. Diverses activités manipulatoires sont possibles : ExAO par exemple (photosynthèse et échanges gazeux...), modélisation (pour comprendre par exemple l'origine des vents et des courants marins, la formation des combustibles fossiles...), observations diverses (sols, roches...).
- **Des attitudes** : dans cette partie, les élèves auront l'occasion de prendre conscience des responsabilités individuelles et collectives des hommes face à l'environnement, à la production agricole et à la nécessaire gestion des ressources naturelles.

Cette deuxième partie est découpée en quatre chapitres : le **chapitre 1** permet de comprendre que les combustibles fossiles sont en fait des formes d'énergie solaire, ils sont issus d'une énergie solaire du passé. Le **chapitre 2** montre que les autres formes d'énergie hydroélectriques, éoliennes sont aussi des formes d'énergie solaire. Ce chapitre pose les enjeux du défi énergétique en montrant que l'immense majorité de l'énergie provenant de l'activité solaire est en fait sous-exploitée. Le **chapitre 3** est consacré au défi alimentaire : nourrir l'humanité au xx^e siècle. Il s'agit de montrer l'importance de la gestion de l'eau et des sols cultivables, deux ressources essentielles, mais limitées, fragiles et souvent mal exploitées. Le **chapitre 4** traite plus précisément du problème des sols, aborde leur formation à l'interface du monde vivant et minéral, montre d'une part la longue histoire de leur formation, d'autre part les menaces qui pèsent sur leur durabilité.

Une correspondance entre le programme officiel et les chapitres du manuel

Connaissances	Les chapitres du manuel
<p><i>Le soleil, une source d'énergie essentielle</i></p> <p>La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone. Ce processus permet, à l'échelle de la planète, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère.</p> <p>La présence de restes organiques dans les combustibles fossiles montre qu'ils sont issus d'une biomasse. Dans des environnements de haute productivité, une faible proportion de la matière organique échappe à l'action des décomposeurs puis se transforme en combustible fossile au cours de son enfouissement.</p> <p>La répartition des gisements de combustibles fossiles montre que transformation et conservation de la matière organique se déroulent dans des circonstances géologiques bien particulières. La connaissance de ces mécanismes permet de découvrir les gisements et de les exploiter par des méthodes adaptées. Cette exploitation a des implications économiques et environnementales.</p>	<p>chapitre 1</p> <p>Le soleil, source d'énergie pour la biosphère (pages 108-127)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 La production de matière organique par les végétaux</p> <p>Act. 2 Les conditions de la production de matière végétale</p> <p>Act. 3 L'importance planétaire de la photosynthèse</p> <p>Act. 4 Le charbon, un exemple de biomasse fossilisée</p> <p>Act. 5 Prospection des gisements de combustibles fossiles</p>

<p>L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone.</p> <p>L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. La photosynthèse en utilise moins de 1%. Le reste chauffe l'air (par l'intermédiaire du sol) et l'eau (ce qui est à l'origine des vents et courants) et évapore l'eau (ce qui permet le cycle de l'eau).</p> <p>Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Ces ressources énergétiques sont rapidement renouvelables.</p> <p>La comparaison de l'énergie reçue par la planète et des besoins humains en énergie permet de discuter de la place actuelle ou future de ces différentes formes d'énergie d'origine solaire.</p>	<h2>chapitre 2</h2> <h3>Le défi énergétique : du non renouvelable au renouvelable</h3> <p>(pages 128-145)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Combustibles fossiles et rejet de CO₂ Act. 2 L'énergie éolienne, de l'énergie solaire Act. 3 L'énergie hydroélectrique, de l'énergie solaire Act. 4 Quelle énergie pour demain ?</p>
<p>Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse. L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle.</p> <p>La biomasse végétale produite par l'agriculture est une source de nourriture mais aussi une source de combustibles ou d'agrocarburants. Ces deux productions entrent en concurrence.</p>	<h2>chapitre 3</h2> <h3>Nourrir l'humanité : un défi pour le XXI^e siècle</h3> <p>(pages 146-160)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Nourrir 9 milliards d'humains Act. 2 Eau et sols : deux ressources essentielles Act. 3 Des ressources inégalement réparties Act. 4 Agriculture, alimentation et énergie</p>
<p>Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température. Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.</p>	<h2>chapitre 4</h2> <h3>Les sols, enveloppes vivantes et fragiles</h3> <p>(pages 161-177)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 La formation d'un sol, une longue histoire Act. 2 Les facteurs essentiels de la formation d'un sol Act. 3 Les sols, des ressources menacées Act. 4 Vers une gestion durable des sols</p>

Le soleil, source d'énergie pour la biosphère

Activités pratiques

1

La production de matière organique par les végétaux (p. 110-111)

Connaissances	Capacités et attitudes
La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone.	Établir, à l'aide d'arguments expérimentaux, les grands éléments de bilan de la photosynthèse.

1. Les intentions pédagogiques

L'objectif des activités pratiques 1 et 2 de ce chapitre est de fournir, conformément aux instructions du programme officiel, des arguments expérimentaux permettant de dresser les grandes lignes du bilan de la photosynthèse. Cette première double page met en évidence la production de matière sèche par le végétal chlorophyllien à la lumière puis caractérise la nature de cette production. Elle montre aussi la diversité de cette production et relie cette diversité au nécessaire besoin de sels minéraux. La deuxième double page présentera les échanges gazeux réalisés au cours de la photosynthèse pour établir les grands éléments de son bilan.

Le **document 1** présente une expérience réalisable au lycée sur une journée pour montrer que la production primaire est une production de matière sèche à la lumière. Cette expérience est réalisable par un groupe d'élèves volontaire pour venir avant et après les cours ou par le personnel de laboratoire. Il convient de faire cela sur une journée bien ensoleillée ou à défaut avec un matériel d'éclairage performant. Il est aussi nécessaire de n'utiliser que le limbe des feuilles pour éviter que les rondelles contiennent plus ou moins de nervures. Des pélargoniums aux larges feuilles donnent de bons résultats ; les «emporte-pièce» peuvent être simplement constitués par des tubes à centrifuger.

Le **document 2** permet de caractériser la matière sèche produite en mettant en évidence la présence d'amidon dans les feuilles éclairées, après décoloration par l'alcool.

Le **document 3** expose, d'une manière très succincte, les célèbres expériences de Melvin Calvin. Il montre la diversité des molécules produites par la plante à la lumière : sucres simples ou plus complexes, acides aminés.

En évoquant les conditions de la culture hors sol, le **document 4** met l'accent sur l'importance des sels minéraux que l'on va relier à la diversité des molécules fabriquées par la plante.

2. Pistes d'exploitation

1. Seules les feuilles éclairées ont produit de la matière sèche lors de l'expérience, la lumière permet donc la production de molécules par la plante verte. L'une de ces

molécules est l'amidon puisqu'il est mis en évidence par le test à l'eau iodée, uniquement dans les feuilles éclairées.

2. La plante verte fabrique à la lumière des sucres et des acides aminés. Ces molécules sont riches en carbone et en oxygène que la plante peut trouver dans le CO₂ et l'eau. Les acides aminés sont en outre constitués d'azote et parfois de soufre, il faut donc que le végétal trouve ces éléments dans le milieu de vie. Dans le cas de la culture hors sol, ce sont les sels minéraux de la solution nutritive qui apportent azote et soufre, mais aussi d'autres éléments chimiques qui permettent le bon fonctionnement de la plante, par exemple en favorisant le métabolisme cellulaire.

3. Ressources complémentaires

- Les expériences de Calvin, site Bmédia :
<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/16-premiercorp.htm>

Activités pratiques

2

Les conditions de la production de matière végétale (p. 112-133)

Connaissances	Capacités et attitudes
La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone.	Établir, à l'aide d'arguments expérimentaux, les grands éléments de bilan de la photosynthèse.

1. Les intentions pédagogiques

En continuité des pages 110 et 111, cette double page présente les échanges gazeux réalisés au cours de la photosynthèse pour établir les grands éléments de son bilan.

Les auteurs ont choisi de dissocier l'étude de l'incorporation du CO₂, de celle du rejet de O₂ pour lutter contre une conception fréquente dans l'esprit des élèves : «à la lumière, la plante verte吸it du CO₂ et rejette de l'O₂, l'un provient donc de l'autre». Le choix est donc fait de commencer par observer que le végétal, à la lumière, grâce à ses pigments chlorophylliens,吸it du CO₂ avec lequel il fabrique sa matière. Ensuite, le rejet de l'O₂ par les végétaux chlorophylliens à la lumière est présenté comme un «artefact» de la dégradation de l'eau nécessaire à la plante pour se procurer les hydrogènes indispensables à la fabrication de ses molécules organiques.

En développant des compétences variées (ExAO et réalisation d'une chromatographie), les **documents 1** et **2** permettent de montrer l'importance de la lumière et de la chlorophylle dans l'acte photosynthétique et plus particulièrement l'incorporation du CO₂. L'élève est amené à voir que, plus que la couleur, c'est la présence de pigments chlorophylliens qui est le point clé de la conversion de l'énergie lumineuse.

Le **document 3** met en évidence le lien entre la lumière et la production de dioxygène par le végétal chlorophyllien.

Le **document 4** présente d'une manière très simplifiée les résultats des expériences classiques de Ruben et Kamen. On insiste ainsi sur le fait que l'eau est dégradée lors de la photosynthèse, cette dégradation produisant du dioxygène et donc des hydrogènes qui pourront être utilisés par la plante pour fabriquer ses molécules hydrogénocarbonées.

2. Pistes d'exploitation

1. Les conditions indispensables à l'incorporation du CO₂ sont d'une part la présence de pigments chlorophylliens dans le fragment végétal et d'autre part la présence de lumière.
2. L'épinard et le fucus, contrairement à la betterave rouge qui n'est pas chlorophyllienne, produisent du dioxygène et cette production est d'autant plus forte que l'intensité lumineuse est plus élevée. Il y a donc un lien entre la photosynthèse et la production de dioxygène par le végétal.
3. Le dioxygène rejeté par la plante a toujours les mêmes proportions de ¹⁸O que l'eau du milieu. Lorsque le CO₂ est marqué, son ¹⁸O ne se retrouve pas dans l'O₂ dégagé. Il faut donc admettre que l'O₂ rejeté provient de la dégradation de l'eau à la lumière. Cette dégradation va fournir en outre à la plante des hydrogènes dont on peut se poser la question du devenir...
4. Cette question vise simplement à synthétiser les informations collectées. L'incorporation à la lumière du CO₂ par le végétal chlorophyllien a été montrée par l'Exao (doc. 1), le besoin d'eau par les expériences de Ruben et Kamen (doc. 4), le rejet de dioxygène à nouveau par l'ExAO (doc. 3).

3. Ressources complémentaires

- Étude par ExAO de la photosynthèse :
<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/expPS2/ExAO/ExAO.htm>
- Les expériences de Ruben et Kamen :
<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/07-doublereaction.htm>

L'importance planétaire de la photosynthèse (p. 114-115)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ce processus (la photosynthèse) permet, à l'échelle de la planète, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère. Objectifs et mots-clés. productivité primaire, biomasse.	Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse

1. Intentions pédagogiques

Il s'agit ici d'étendre l'importance de la photosynthèse à l'ensemble de la biosphère. L'objectif est de montrer que le soleil est la source d'énergie du monde vivant (en seconde, on laisse de côté les différentes exceptions pourtant bien connues).

En se basant sur les connaissances du collège, on aborde la notion de productivité primaire et surtout de productivité primaire nette, c'est-à-dire celle disponible pour le reste du monde vivant. On montre aussi que la matière végétale produite est le support d'un transfert d'énergie au sein des chaînes alimentaires. On précise que les transferts entre les différents maillons s'accompagnent d'inévitables pertes liées au métabolisme hétérotrophe. Enfin, on montre ici que les écosystèmes ne sont pas toujours à l'équilibre et que des fuites de matière organique sont possibles.

Les **document 1** et **2** permettent de définir la productivité primaire nette et amènent la notion de biomasse aussi bien dans les océans que sur les continents. Les documents montrent les variations latitudinales et longitudinales de cette production ainsi que les variations saisonnières. Ils permettent de se poser la question de la variation de l'activité photosynthétique dans le temps et l'espace et ainsi d'émettre des hypothèses sur les variations d'insolation, le rôle de la température, des apports nutritifs...

Le **document 3** donne les connaissances nécessaires pour comprendre que les transferts énergétiques au sein de la biosphère conduisent à de considérables pertes liées à la respiration, ce qui amène la notion de pyramides des biomasses. Ce schéma est complété par le rôle des décomposeurs et le recyclage de la matière. L'élève dispose ainsi d'une synthèse mettant en évidence le fonctionnement global d'un écosystème à l'équilibre.

Le **document 4** précise le document 3 en montrant que les écosystèmes ne sont pas vraiment à l'équilibre. Une fuite de matière organique mal dégradée est possible via le cycle de l'eau et le fonctionnement des rivières. Le devenir de cette matière organique mal dégradée, amenée vers les océans et les mers, enfouie sous les sédiments, estposé.

2. Pistes d'exploitation

1. Les écosystèmes les plus productifs sont les littoraux. Ceci est particulièrement visible au niveau de la mer du Nord, des côtes africaines atlantiques (Sénégal, Gabon, Angola, Namibie), de l'Amérique du Sud, de la Nouvelle Zélande, du Japon... *Dans le cadre d'un approfondissement (aide personnalisée), il serait intéressant de formuler des hypothèses quant à l'origine de cette inégale répartition de la productivité nette dans les océans et ainsi de rechercher des informations sur le phytoplancton et les phénomènes d'upwelling.*

La chute de la densité du plancton marin est un phénomène très inquiétant car il est à l'origine de la productivité primaire nette des océans et par voie de conséquence de la productivité globale des océans. C'est en effet la base de la nourriture des différents consommateurs et donc des poissons. Dans les zones où le phytoplancton devient plus rare, la pêche devient très aléatoire. De plus, via la photosynthèse, le phytoplancton est un consommateur de CO₂ très important. La raréfaction de ces formes de vie accentue le phénomène d'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique et par effet de serre additionnel, le réchauffement climatique.

2. Les organismes photosynthétiques occupent une bonne partie des continents et une grande partie des littoraux et des mers peu profondes. Leur productivité primaire nette, c'est-à-dire la matière organique qui est disponible pour les autres êtres vivants varie en fonction des saisons au grès des variations d'insolation et de température. Le soleil a donc par ce biais une influence sur le fonctionnement de l'ensemble de la biosphère. La photosynthèse a une importance planétaire.

3. Dans un écosystème, les consommateurs fabriquent leur matière en utilisant de la matière organique déjà produite par les végétaux ou d'autres consommateurs. Ils utilisent ainsi, directement ou indirectement, de la matière minérale et de l'énergie issue de l'activité photosynthétique des plantes.

Au sein des écosystèmes, il existe un long flux d'énergie dont la matière, en passant de maillon en maillon des chaînes alimentaires, est le support. Ce flux a pour origine la lumière.

4. Dans un écosystème à l'équilibre, la matière organique morte est recyclée en matière minérale disponible pour la production primaire. La fuite de matière organique mal dégradée par les rivières prive donc l'écosystème d'une partie de ses ressources. De plus, il convient de se poser la question du devenir de cette matière organique mal dégradée qui, transportée par les rivières, va être ensevelie sous des sédiments dans des bassins océaniques.

3. Ressources complémentaires

- Le site Nasa Earth Observation qui permet l'étude de la productivité primaire nette en fonction des saisons :
<http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html>
- Un tutoriel et des pistes d'exploitation de ce site (intégration à Google earth des images par exemple) sur le site de l'académie de Nantes :
http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1274807137644/0/fiche_ressourcepedagogique/&RH=1160067860062

Le charbon, un exemple de biomasse fossilisée (p. 116-117)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> La présence de restes organiques dans les combustibles fossiles montre qu'ils sont issus d'une biomasse. Dans des environnements de haute productivité, une faible proportion de la matière organique échappe à l'action des décomposeurs puis se transforme en combustible fossile au cours de son enfouissement. La répartition des gisements de combustibles fossiles montre que transformation et conservation de la matière organique se déroulent dans des circonstances géologiques bien particulières. 	<ul style="list-style-type: none"> Repérer dans la composition et les conditions de gisement les indices d'une origine biologique d'un exemple de combustible fossile. Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations, si possible sur le terrain et/ou modéliser pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de combustible fossile (structure, formation, découverte, exploitation).

1. Intentions pédagogiques

L'objectif de cette double page est de présenter un exemple de gisement de combustible fossile. Le programme officiel laissant le choix de l'exemple à traiter, les auteurs ont opté pour un gisement de charbon français, le site de Graissessac dans le Montagne Noire (Hérault). L'exemple du charbon est en effet plus démonstratif que celui du pétrole pour mettre en évidence l'origine biologique des roches carbonées ; il permet en outre une approche « de terrain » centrée sur des observations d'affleurement, de roches, d'accidents tectoniques de manière à reconstituer, par le principe d'actualisme, les conditions de formation du combustible.

Pour information, la carrière de Graissessac a été exploitée jusque récemment, elle n'a fermé qu'en avril 2004. Elle était alors la dernière mine de charbon encore en exploitation. Elle fait partie des carrières dites ouvertes, le gisement est un bassin de type limnique, un type de bassin lacustre de faible profondeur fréquent dans tout le pourtour du Massif Central. Le bassin a une longueur de 30 km et une largeur de 2 km.

Le **document 1** donne les informations essentielles sur le gisement : localisation géographique, âge de la formation (Carbonifère supérieur, Stéphanien), photographie de l'affleurement (front de taille) permettant d'observer la puissance des strates et leur disposition : on peut y voir l'alternance des couches de houille et des couches de sédiments détritiques (grès). Une image issue de Google Earth permet de constater la proximité du village, ainsi que les chemins d'accès au site d'exploitation. Enfin, trois échantillons de fossiles retrouvés dans les couches de charbon sont présentés, ils sont à mettre en regard de la reconstitution paléogéographique présentée par le **document 2**.

Le **document 3** apporte les connaissances nécessaires pour comprendre la formation du gisement, il est transposable à bon nombre d'autres petits bassins limniques français.

2. Pistes d'exploitation

- Le site se trouve dans le sud de la France aux confins du Massif central. Il est situé près d'un village, ce qui a permis son exploitation. Il présente une alternance de couches de charbon sombres et de couches sédimentaires plus claires de quelques dizaines de mètres chacune. Les roches sont datées du Carbonifère supérieur (-300 Ma).

Les couches sédimentaires n'ont pas une épaisseur régulière, la couche principale de charbon est par exemple plus épaisse sur la droite du front de taille.

Une recherche rapide sur Internet permet à l'élève de retrouver d'autres bassins houillers stéphaniens : Rodez, Decazeville, Carmaux...

2. La production de biomasse est facilitée par l'époque du Carbonifère qui est celle de la présence sur la planète de formes végétales exubérantes, fougères arborescentes géantes par exemple, calamites, «fougères» à graines. La période est aussi marquée par la présence de la «France» au niveau équatorial ce qui favorise un climat ensoleillé, chaud et humide propice à la photosynthèse et au développement de la forêt.

3. Les changements de dépôts dans le bassin sédimentaire peuvent se comprendre par des variations de l'activité tectonique et des variations de l'apport sédimentaire lié à l'érosion.

4. Au Carbonifère supérieur, la future France est en position équatoriale, ce qui favorise un climat ensoleillé, chaud et humide permettant le développement d'une forêt exubérante ainsi que l'érosion intense des reliefs proches (chaîne hercynienne, Massif central) : les fossiles, les roches sédimentaires détritiques teintées d'oxyde de fer témoignent de ces conditions. Au gré des variations de l'activité tectonique et des apports sédimentaires liés à l'érosion, le bassin se remplit alternativement de couches de sables et de couches de matière végétale provenant de la destruction de la forêt. À l'abri de l'air, les éléments organiques compressés, enfouis de plus en plus profondément, fermentent, se réchauffent et se transforment en charbon. Chaque couche de charbon est le résultat de la disparition d'une forêt houillère.

3. Ressources complémentaires

- La découverte du site de Graissessac dans la lithothèque de l'académie de Montpellier :
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr/svt/litho/grairessac/>
- Voir notamment la possibilité d'extraction de microfossiles dans les sédiments houillers.
- Énergies fossiles et Google Earth :
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article349>

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 255.

6 | Une étude expérimentale

Réponses b et d.

7 | Exercice guidé : Pigments colorés et répartition des algues marines

Les algues vertes possèdent de la chlorophylle a et b, et des caroténoïdes. Elles peuvent donc être sensibles au bleu et au rouge.

Les algues brunes possèdent de la chlorophylle a et c et des caroténoïdes. Elles peuvent donc être sensibles au bleu (surtout) et au rouge.

Les algues rouges possèdent de la chlorophylle, des caroténoïdes et des phycobilines. Elles peuvent donc être sensibles au bleu, au rouge et au vert.

Les radiations rouges pénètrent peu dans l'eau de mer, elles ne sont plus présentes après 20 m de profondeur.

Les radiations bleues pénètrent mieux que les rouges dans l'eau de mer, même si leur présence décroît avec la profondeur, elles sont présentes jusqu'à - 100 m.

Les radiations vertes sont présentes jusqu'à 120 mètres de profondeur et leur intensité ne semble pas diminuer. Elles sont peu absorbées par les eaux de surface.

Les algues vertes qui utilisent grâce à leurs pigments photosynthétiques principalement le rouge et le bleu vont préférentiellement vivre à faible profondeur (jusqu'à une vingtaine de mètres). Le manque de rouge et leur incapacité à utiliser le vert va les rendre moins compétitives que les autres algues à plus grande profondeur.

Les algues brunes, grâce à leur chlorophylle c, utilisent mieux le bleu que les algues vertes, elles vont donc pouvoir vivre à de plus grandes profondeurs (jusqu'à - 60 m).

Les algues rouges, grâce à leurs phycobilines, vont utiliser le vert et donc pouvoir se développer jusqu'à plus de 100 m de profondeur.

8 | Du bitume dans les sédiments du bassin de la Limagne

1. Le fossé de la Limagne est bordé par des failles (trois sont visibles sur le document) qui, comme l'indiquent les flèches, ont provoqué le basculement du compartiment est (ce sont des failles normales). Le socle a été fracturé, un bassin s'est ouvert permettant le dépôt des sédiments. Les sédiments étant caractéristiques d'un dépôt, sous une faible profondeur d'eau, il faut imaginer que le basculement s'est effectué très lentement mais il a duré longtemps, ce qui explique l'épaisseur considérable des dépôts (on parle de subsidence).

2. Du fait de l'enfouissement, les dépôts contenant de la matière organique mal dégradée ont été amenés à de plus hautes températures. La matière organique a été dégradée thermiquement et du bitume s'est formé.

9 | Un projet de stockage de CO₂ à Lacq

1. Le rejet massif de CO₂ dans l'atmosphère pose problème car il amplifie l'effet de serre naturel de la Terre. Il est de ce fait responsable d'un réchauffement climatique.

2. La région de Lacq possède des roches poreuses capables de renfermer le CO₂ que l'on pourrait pomper dans l'atmosphère. Ces roches poreuses sont surmontées de

roches imperméables susceptibles de former une couverture piégeant le CO₂ dans la roche réservoir sous-jacente. Ce dispositif a fait ses preuves puisqu'il a emprisonné pendant des millions d'années du gaz naturel.

10 Photosynthèse et taux de CO₂ du milieu

On attend tout ou partie des points suivants :

- Une utilisation de l'image de montage proposé pour adapter le protocole expérimental au matériel disponible.
- L'utilisation privilégiée de la sonde à dioxygène pour matérialiser l'intensité photosynthétique.
- Le dépôt plus ou moins important d'acide sur le calcaire pour dégager plus ou moins de CO₂.
- La réalisation d'un témoin (pas d'ajout de CO₂).
- Une critique des résultats adaptée à ce qui est réellement obtenu et aux conditions matérielles effectivement présentes.
- Une communication des résultats (graphiques annotés par exemple) qui reprend bien les conditions expérimentales (indication des ajouts d'acide et de la quantité ajoutée, légendes des courbes).

Le défi énergétique : du non renouvelable au renouvelable

Activités pratiques

1

Combustibles fossiles et rejet de CO₂ (p. 130-131)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. - L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations pour repérer dans une archive géologique simple les indices d'une variation d'origine humaine de la teneur en dioxyde de carbone atmosphérique. - Représenter un cycle du carbone simplifié mais quantifié pour comprendre en quoi l'utilisation des combustibles fossiles constitue un enjeu planétaire.

1. Les intentions pédagogiques

L'objectif de ces pages est de présenter le cycle naturel du carbone, de présenter les principaux réservoirs, les modes de transferts de carbone entre ces réservoirs pour ensuite comprendre comment l'Homme intervient sur cet équilibre naturel. Conformément aux exigences du programme officiel, le cycle du carbone est présenté d'une manière très simple, schématisable par l'élève, mais il est quantifié, c'est-à-dire qu'il permet de comparer les flux anthropiques aux flux naturels pour envisager réellement l'impact des activités humaines.

Les **documents 1 et 3** présentent les différents réservoirs ainsi que les flux naturels et anthropiques.

Les **documents 2 et 4** montrent l'évolution naturelle du taux de CO₂ atmosphérique et son forçage par les activités humaines. Le programme officiel laissant le choix de l'archive géologique à traiter, les auteurs ont opté pour les traces laissées dans les calottes glaciaires par les bulles d'air emprisonnées dans la glace. Les résultats très récents du forage EPICA sont présentés.

2. Pistes d'exploitation

1. Le CO₂, via l'atome de carbone, est présent dans différents réservoirs sur la planète. Ces réservoirs sont interdépendants, ils s'échangent le carbone par différents phénomènes qui s'équilibrent au cours du temps (la respiration-fermentation équilibre la photosynthèse, les diffusions d'un réservoir à l'autre s'équilibrent, etc.).

2. Les archives géologiques montrent que cet équilibre se modifie au cours du temps. Il existe une fluctuation naturelle du taux de CO₂ atmosphérique. Tous les 100 000 ans par exemple son taux augmente brutalement. Les échanges entre les réservoirs se modifient, certains deviennent prépondérants et vont faire augmenter ou diminuer le taux atmosphérique.

Il pourra être intéressant de discuter avec les élèves du fait qu'actuellement le phénomène d'altération n'est pas entièrement compensé par le volcanisme et la fossilisation par exemple. Ainsi, à l'échelle des temps géologiques, nous sommes au sein d'une période froide marquée par la présence de glaces sur la Terre. On pourra aussi préciser que les augmentations visibles sur la courbe EPICA du taux de CO₂ sont liées à une augmentation de la diffusion du CO₂ océanique de l'eau vers l'air.

3. On attend ici que l'élève flèche sur son schéma la combustion (à laquelle on associera la calcination) et la déforestation. On constatera le flux énorme de CO₂ produit par les activités humaines 30 Gt/an, c'est-à-dire 30 fois ce que produit actuellement le volcanisme...

4. Par la confrontation des documents 2 et 4, l'élève est amené à constater que le taux actuel de CO₂ est inédit depuis 800 000 ans. Jamais il n'avait dépassé 300 ppm, il atteint aujourd'hui 370 ppm....

3. Ressources complémentaires

- Modélisation du cycle du CO₂, utilisation du logiciel Stella, site de l'académie de Montpellier:
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article253>
- Le site US de la NOAA pour une mine d'informations concernant le problème du CO₂ et pour télécharger les fichiers Excel des différents forages glaciaires (dont EPICA):
http://www.esrl.noaa.gov/gmd/infodata/faq_cat-3.html et <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore.html>

L'énergie éolienne, de l'énergie solaire (p. 132-133)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. - La photosynthèse en utilise moins de 1%. Le reste chauffe l'air (par l'intermédiaire du sol) et l'eau (ce qui est à l'origine des vents et courants) et évapore l'eau (ce qui permet le cycle de l'eau). - Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Ces ressources énergétiques sont rapidement renouvelables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations (documents météorologiques et/ou images satellites et/ou documents océanographiques, etc.) et les mettre en relation pour comprendre l'effet de l'énergie solaire sur un exemple de circulation (atmosphérique ou hydrosphérique). - Construire une argumentation (de nature manipulatoire et/ou documentaire) pour montrer l'inégale répartition de la quantité d'énergie solaire reçue selon la latitude, et ses conséquences.

1. Les intentions pédagogiques

Si le soleil est la source d'énergie pour l'ensemble du monde vivant, celui-ci n'en utilise qu'une très faible part. L'idée est donc de construire une vue globale du devenir de l'énergie solaire. Il convient donc de montrer que l'énergie solaire est inégalement répartie sur la planète et que cette inégale répartition est à l'origine d'un déséquilibre, générateur de mouvements des enveloppes fluides. Par exemple, l'air plus ou moins chauffé va être mis en mouvement ce qui génère des vents. Ces vents sont utilisés par les hommes pour produire de l'électricité. La connaissance des vents (gisement éolien) permet aux décideurs de positionner les éoliennes.

Le **document 1** présente l'inégale répartition de l'énergie absorbée à la surface du globe. Les élèves connaissent déjà l'existence d'une répartition latitudinale des climats, elle trouve son explication ici avec le fait que la chaleur absorbée par la Terre est de moins en moins importante de l'équateur vers les pôles. Les zones du globe les plus chaudes sont celles qui absorbent le plus d'énergie solaire.

Le **document 2** amène une activité expérimentale qui permet de mettre en relation la sphéricité de la Terre avec l'inégale répartition de l'énergie reçue. Il convient d'insister sur le fait que le pinceau lumineux est, à la sortie de chaque trou de la plaque, un « cylindre de lumière » dont l'orientation ne change pas par rapport à l'axe de rotation du globe. Les élèves constatent alors facilement que l'aire éclairée à la surface du globe est d'autant plus grande que l'on est près des pôles. La quantité d'énergie transportée par chaque pinceau de lumière étant constante, l'énergie reçue par unité de surface va donc dépendre de l'importance de la surface éclairée.

Le **document 3** permet de comprendre l'origine des vents par une manipulation. Le mécanisme est simplifié à l'extrême, pour répondre aux exigences du programme officiel, il suffit en effet que l'élève comprenne que l'air chauffé s'élève et que cette élévation est à l'origine de mouvements horizontaux : les vents.

Le **document 4** présente le gisement éolien européen et donne des précisions quant aux différents types de vents connus sur notre territoire. L'essentiel se résume au fait que les vents sont liés à des déséquilibres thermiques et donc en amont à l'énergie du soleil.

2. Pistes d'exploitation

1. Du fait de la sphéricité du globe, la quantité d'énergie solaire reçue par la surface de la planète varie selon la latitude. Elle diminue de l'équateur vers les pôles. Pour un même pinceau de rayonnement solaire, la quantité éclairée au sol est en effet plus étendue à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur, l'énergie est donc moins concentrée. Plus on s'éloigne de l'équateur et moins il y a d'énergie absorbée pour une surface donnée au sol, les zones sont donc de plus en plus froides.
2. Les zones plus «éclairées» sont plus échauffées, la chaleur ainsi dégagée par la surface du globe, réchauffe l'air qui devenu moins dense s'élève. Il se crée ainsi des zones de basses pressions à l'origine de mouvements d'air horizontaux en provenance de zones proches mais de plus haute pression : ce sont les vents. L'énergie éolienne est donc une forme de conversion de l'énergie solaire.
3. Les secteurs les plus propices pour installer des éoliennes en Europe sont situés au nord-ouest. En effet, les vents dominants liés à la circulation globale des masses d'air dans l'hémisphère nord sont des vents de sud-ouest. À cela s'ajoutent des spécificités locales liées aux reliefs.
4. Les vents côtiers sont liés à des différences thermiques entre l'intérieur des terres et la mer. Pendant la journée, la terre est plus chaude que la mer, l'air chaud s'élève donc au niveau du continent si bien que les courants horizontaux s'effectuent de la mer vers la terre. La nuit, la terre se refroidissant plus vite que la mer, c'est la mer qui est la plus chaude et le phénomène inverse se produit, les vents viennent alors de la terre vers la mer.

3. Ressources complémentaires

- Animation et explication concernant les courants atmosphériques sur le site de la cité des sciences :
http://www.cite-sciences.fr/lexique/definition1.php?id_expo=14&idmot=168&radiob=1&recho=&resultat=&num_page=1&habillage=sactu&lang=fr&id_habillage=25
- Des ressources sur le site de l'académie de Toulouse :
<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/encens/encens.htm> (voir aussi le logiciel Terre 2 de P. Perez et les activités tableur de G. Gutjahr sur ce même site).
- Le site Meteo éducation, une ressource incontournable :
<http://education.meteofrance.com/education/accueil>

L'énergie hydroélectrique, de l'énergie solaire (p. 134-135)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. - La photosynthèse en utilise moins de 1%. Le reste chauffe l'air (par l'intermédiaire du sol) et l'eau (ce qui est à l'origine des vents et courants) et évapore l'eau (ce qui permet le cycle de l'eau). - Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Ces ressources énergétiques sont rapidement renouvelables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations (documents météorologiques et/ou images satellites et/ou documents océanographiques, etc.) et les mettre en relation pour comprendre l'effet de l'énergie solaire sur un exemple de circulation (atmosphérique ou hydrosphérique). - Construire une argumentation (de nature manipulatoire et/ou documentaire) pour montrer l'inégale répartition de la quantité d'énergie solaire reçue selon la latitude, et ses conséquences.

1. Intentions pédagogiques

Cette double page poursuit l'étude du devenir de l'énergie solaire reçue par le globe. Elle envisage cette fois la mise en mouvements de l'hydrosphère via le cycle de l'eau et la formation des courants marins de surface. Pour répondre aux objectifs du nouveau programme officiel, l'étude des courants marins est réduite au strict minimum, il s'agit simplement de montrer que les courants, tels le Gulf Stream, sont liés aux vents et aux déséquilibres thermiques consécutifs à l'inégale répartition de l'énergie solaire reçue par la Terre.

Les **documents 1 et 2** rappellent l'origine solaire du cycle de l'eau : c'est par l'évaporation que l'eau est mise en mouvement. L'eau s'évapore grâce à la chaleur du soleil puis elle circule sous forme de vapeur grâce aux mouvements atmosphériques ; les précipitations, l'écoulement par gravité permettent le retour de l'eau dans les bassins océaniques. Un barrage est donc une forme de stockage indirecte de l'énergie du soleil.

Le **document 3** permet de mettre en relation la température de surface de l'eau de mer avec l'inégale répartition de l'énergie solaire absorbée à la surface du globe (document 1 p. 132). Les régions équatoriales et tropicales étant les plus ensoleillées sont les plus chaudes. Ce déséquilibre nécessite donc un transfert d'énergie de l'équateur vers les pôles qui est assuré par la circulation océanique.

Le **document 4** propose une manipulation simple pour comprendre le rôle du déséquilibre thermique sur la création des courants marins. L'eau chaude moins dense monte, l'eau froide plus dense descend dans le montage. Ce document gagnera à être associé à l'étude de l'exercice 9, p. 144 qui permet de montrer que les courants marins de surface sont en outre couplés aux vents.

Le **document 5** apporte plus d'informations sur le Gulf Stream et montre qu'il s'agit là d'un gisement exploitable mais pas encore d'une ressource car les technologies ne sont pas encore disponibles.

2. Pistes d'exploitation

1. L'eau s'évapore grâce à la chaleur équatoriale, sous forme de vapeur elle circule grâce aux mouvements atmosphériques ; les précipitations, l'écoulement par gravité

permettent le retour de l'eau dans les bassins océaniques. L'énergie qui met l'eau en mouvement provient donc du Soleil, l'énergie hydroélectrique est donc bien une forme de conversion de l'énergie solaire.

2. Un barrage retient de l'eau qui est susceptible de s'écouler de part la gravité. Cette énergie potentielle est susceptible d'être convertie en énergie électrique. Cependant, le barrage contient de l'eau qui lui est parvenue via le cycle de l'eau qui est lui-même lié à l'énergie solaire. Un barrage est donc indirectement une forme de stockage d'une énergie solaire.

L'énergie hydroélectrique présente plusieurs avantages : le rendement est très bon, l'énergie est renouvelable, elle est fréquemment disponible. Cependant, les barrages ont des incidences réelles sur l'environnement et les populations humaines : pollutions, déplacement de populations, maladies, diminution des rendements agricoles.
(On consultera avec intérêt à ce sujet la page 140 qui présente l'impact du gigantesque barrage des Trois Gorges en Chine.)

3. Les courants marins de surface naissent de l'inégale répartition de l'énergie solaire reçue par la Terre. Poussées par les vents, de gigantesques masses d'eau chaudes sont mises en mouvement des tropiques vers les pôles comme par exemple le Gulf Stream. Les courants marins prennent donc naissance de l'énergie solaire, c'est une forme de conversion énergétique.

4. Le Gulf Stream est un immense gisement énergétique, le déplacement d'eau est susceptible de générer une immense quantité d'électricité. Cependant, en l'absence de moyens techniques efficaces pour l'utiliser, cela reste théorique, le Gulf Stream est un gisement mais pas encore une réserve utilisable.

3. Ressources complémentaires

- La Terre planète océane sur le site educnet :
<http://www.educnet.education.fr/obter/appliped/ocean/theme/ocean42.htm>
- Sur le site de l'académie de Poitiers des propositions d'activité :
<http://ww3.ac-poitiers.fr/svt/activite/texier/COUROCEA/index.htm.htm>
- Étudier les courants marins avec Nasa World Wind, sur le site de l'académie de Montpellier :
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article88>
- Énergies renouvelables et Google earth (académie de Montpellier) :
<http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article350>

Quelle énergie pour demain ? (p. 136-137)

Connaissances	Capacités et attitudes
La comparaison de l'énergie reçue par la planète et des besoins humains en énergie permet de discuter de la place actuelle ou future de ces différentes formes d'énergie d'origine solaire.	

1. Intentions pédagogiques

L'objectif de cette double page est de présenter un panorama global de l'énergie solaire reçue par la Terre pour discuter de la place actuelle des ressources énergétiques que nous utilisons. Le défi énergétique apparaît de la confrontation de nos besoins sans cesse croissants à l'énergie que nous apporte le soleil, de la disponibilité de cette énergie aux moyens existant pour la capter.

Le **document 1** présente le bilan radiatif simplifié de la planète. L'élève est amené à voir qu'il est équilibré, ce qui arrive sur Terre est globalement restitué par réflexion et émission.

Le **document 2** apporte des informations quantitatives sur la grandeur de l'énergie solaire absorbée chaque année par la Terre. Il permet de confronter cette valeur à l'évolution des besoins humains (**document 3**). Le document 2 met aussi en évidence l'infinie partie de l'énergie solaire qui est en fait utilisée par la biosphère.

Le **document 4** présente les différentes ressources énergétiques utilisées au niveau mondial et montre la prédominance de l'utilisation des ressources issues du fonctionnement de la biosphère. Un paradoxe apparaît : on surexploite la plus infime partie de l'énergie solaire reçue par le globe. Cependant, pour le moment, nos technologies ne nous permettent guère de faire autrement. C'est donc bien là que se situe le défi énergétique pour l'avenir : parvenir à développer des moyens plus performants pour utiliser la manne énergétique solaire.

2. Pistes d'exploitation

1. L'énergie solaire est en partie absorbée et réfléchie par l'atmosphère terrestre. Seule la moitié du rayonnement solaire atteint la surface du globe. Une partie est absorbée, une autre est réémise sous forme de chaleur ou simplement réfléchie.
2. L'énergie solaire reçue par la planète dépasse de très loin (près de 5 000 fois) les besoins humains en énergie même s'ils sont sans cesse croissants depuis 50 ans.
3. Le panorama des différentes ressources énergétiques utilisées actuellement à l'échelle du globe montre clairement la prédominance des énergies d'origine biologique (biomasse et combustibles fossiles). La plus grande part de l'énergie solaire reçue par la Terre est donc inexploitée.
4. Le défi énergétique auquel est confronté l'humanité consiste donc à limiter l'utilisation des ressources d'origine biologique (qui de toute façon sont épuisables) et à développer des technologies innovantes pour mieux utiliser toute l'énergie solaire qui est convertie dans les mouvements des enveloppes fluides ou absorbée à la surface du globe.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 255 et 256

6 Énergie solaire et surface du globe

Réponses a et d.

7 Exercice guidé : Enquête sur le taux de CO₂ des atmosphères du passé

1. L'indice stomatique correspond au nombre de stomates d'une feuille par rapport au nombre de ses cellules épidermiques. D'après le document 2, plus l'indice stomatique d'une feuille est grand, plus le taux de CO₂ atmosphérique est faible. Plus l'indice stomatique est bas et plus le taux de CO₂ atmosphérique est grand. En d'autres termes, moins il y a de CO₂ dans l'air et plus il y a de stomates dans l'épiderme des feuilles. Le document 1 montre que l'indice stomatique diminue entre 1860 et 2000 et que dans le même temps, le taux de CO₂ passe de 290 ppm à 355 ppm.

Pour connaître le taux de CO₂ d'une atmosphère passée, il convient donc de déterminer l'indice stomatique d'une feuille fossile.

2. Calcul du taux de CO₂ de différentes atmosphères passées :

Âge (en Ma)	Indice stomatique (en %)	Taux de CO ₂ (en ppm)
- 2,5	9,50	367
- 6,5	16,20	280
- 10,0	10,50	354
- 55,0	8,29	383
- 65,9	7,03	400

3. Calcul du taux actuel : environ 380 ppm. Ce taux est donc le plus important de l'histoire récente du globe mais il reste en deçà de taux historique tel celui du Crétacé. Notre planète se réchauffe mais elle reste encore dans une période globalement froide à l'échelle des temps géologiques. Au Crétacé, il n'y avait pas de glaces sur le globe...

8 Un projet d'éolienne à couper le souffle !

1. On envisage d'implanter des éoliennes de très haute altitude car à 10 km, les vents, dits courants jets, sont trois fois plus forts et sont plus réguliers.
2. Ces éoliennes seraient susceptibles de fournir une énergie considérable, plus importante et surtout d'une manière beaucoup plus régulière que les éoliennes de basse altitude soumises aux caprices de la météo. Cette énergie est en outre une énergie complètement renouvelable. Cependant, les infrastructures sont coûteuses et ces éoliennes viennent en concurrence avec les transports aériens... !

9 Vents et courants marins de surface

Les navigateurs savent depuis longtemps qu'il existe un parallélisme entre les courants marins et les vents dominants. On peut ainsi constater en comparant les cartes

que les alizés poussent les eaux équatoriales vers les continents (voir au niveau de la Floride ou du Brésil). Un phénomène comparable est observable avec les vents d'ouest au niveau du Pacifique ou de l'Atlantique nord. La forme des continents et la force de Coriolis vient ensuite « perturber » cette circulation marine et dévier les courants parfois contre les vents (voir la naissance du Gulf Stream, par exemple).

10 Des transferts de carbone entre l'air et l'eau

On attend tout ou partie des points suivants :

- L'élève doit choisir de débuter son expérience avec une eau bouillie.
- L'élève teste l'effet de la température sur la diffusion air-eau en plaçant une sonde à CO₂ dans l'air et une sonde à CO₂ dans l'eau d'un récipient à moitié plein. Il enrichit l'eau en CO₂ en soufflant puis il place le récipient sur une plaque chauffante et laisse augmenter la température (attention, elle est à surveiller, la plupart des sondes à CO₂ ne supportent pas plus de 40 °C).
- L'élève peut aussi choisir d'enrichir l'eau bouillie en CO₂ en soufflant dans le récipient puis de placer dans l'air des pastilles de potasse pour prélever le CO₂ de l'air et ainsi forcer la diffusion du CO₂ de l'eau vers l'air.
- Une communication des résultats (graphiques annotés par exemple) qui reprend bien les conditions expérimentales (indication des différents stades de l'expérience, chauffage, ajout de potasse...).

Nourrir l'humanité : un défi pour le XXI^e siècle

Activités pratiques

1

Nourrir 9 milliards d'humains (p. 148-149)

Connaissances	Capacités et attitudes
Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse.	Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations : <ul style="list-style-type: none"> - de façon à comparer la part de production de biomasse utilisée par l'homme et le total de cette production ; - afin de comprendre comment l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit.

1. Les intentions pédagogiques

Les activités proposées ont pour objectif de poser la problématique de l'alimentation humaine à l'échelle globale : bien que tous les humains ne mangent pas à leur faim, la production de nos aliments a déjà de lourdes conséquences environnementales. Comment concilier deux nécessités, deux urgences : la préservation des écosystèmes et la sécurité alimentaire des populations ? Au-delà de leur objectif informatif, ces pages doivent permettre aux élèves de comprendre la responsabilité humaine dans ces deux domaines, alimentaire et environnemental. Ce faisant, les élèves sont amenés à s'exercer à la lecture de graphes et de cartes, à la mise en relation de données graphiques de natures différentes, à la pratique de calculs simples.

Tout d'abord, grâce au **document 1**, on souligne le fait que tous nos aliments proviennent directement ou non de la photosynthèse. Cela reste vrai, qu'il s'agisse de produits végétaux ou animaux, que leur origine naturelle soit encore largement perceptible (fruits, légumes crus, viande...) ou masquée par des transformations complexes (pain, pâtes, fromage...) Manger, c'est donc prélever une part de la production primaire nette.

Le **document 2** présente l'évolution de la population mondiale, telle qu'elle est constatée jusqu'en 2005 (chiffres les plus récents à la date de parution du manuel) et telle qu'elle est projetée par les experts pour les 40 prochaines années. On constate que la croissance démographique devrait se poursuivre malgré une tendance vers un certain plafond : de ce seul fait, la demande alimentaire globale devrait donc augmenter. On peut ensuite préciser que cette croissance démographique devrait affecter principalement les pays en voie de développement, ainsi que les pays les moins développés.

La mise en relation de ces données démographiques avec l'évolution de la disponibilité alimentaire dans trois groupes de pays (**document 3**) doit permettre de comprendre l'ampleur du défi alimentaire : ce sont en effet les pays pauvres, dans lesquels la ration alimentaire est deux à trois fois moins importante que celle des pays riches, qui vont continuer à voir leur population augmenter au cours du XXI^e siècle.

Les **documents 4** et **5** présentent deux conséquences environnementales de l'agriculture mondiale. La carte de l'appropriation humaine de la production primaire présente l'impact quantitatif et met en évidence la très forte hétérogénéité du niveau de prélèvement (entre 0 et 40 000 % ! Les valeurs > à 100 % ne doivent pas surprendre : elles signifient simplement qu'on importe alors plus de denrées qu'on en produit). Les élèves pourront proposer des hypothèses explicatives, à partir de leurs connaissances géographiques, mais aussi en s'aidant des cartes situées aux pages 114 et 152. À travers l'exemple de la déforestation en zone tropicale humide, le **document 5** fait le lien avec l'étude de la biodiversité menée dans la partie 1 (pages 73 et 90 notamment) et montre que l'agriculture actuelle constitue un facteur majeur d'appauvrissement des écosystèmes.

2. Pistes d'exploitation

1. Tous nos aliments sont issus de végétaux (racines, feuilles, fruits, graines...) ou d'animaux (viande, lait, œufs...) plus ou moins transformés. On sait que les végétaux se construisent grâce à la photosynthèse et que les autres êtres vivants se construisent en consommant directement ou non des végétaux (réseaux trophiques). On peut donc dire que tous nos aliments dépendent, directement ou non, de la photosynthèse.
2. Les pays à forte croissance démographique sont les pays les moins développés et les pays en voie de développement. Ces pays présentent une disponibilité alimentaire très inférieure à celle des pays développés.
3. Si une région préleve plus que 100 % de sa production primaire nette, c'est qu'elle consomme davantage de produits agricoles qu'elle n'en produit. Elle dépend pour cela d'échanges avec d'autres régions.
4. En moyenne, une espèce disparaît quand 40 ha de forêt tropicale sont détruits. Or, la déforestation concerne 8 millions d'hectares chaque année. On peut donc estimer le rythme annuel des extinctions d'espèces dans ces milieux à : $8 \cdot 10^6 / 40 = 2 \cdot 10^5$.

3. Ressources complémentaires

- Situation des forêts du monde. Document FAO dressant un bilan détaillé de la ressource forestière mondiale :
<http://www.fao.org/docrep/003/X6954F/X6954F00.htm>
- Agriculture et biodiversité. Expertise scientifique menée par l'INRA sur les relations entre l'agriculture et la biodiversité :
http://www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/agriculture_et_biodiversite_rapport_d_expertise
- Banque de données statistiques de la FAO. Banque contenant des données sur la population, les terres et leur utilisation, l'eau, les produits agricoles, la sécurité alimentaire, etc., à différentes échelles géographiques et en séries temporelles :
<http://faostat.fao.org/default.aspx?lang=fr>
- Appropriation Humaine de la Productivité Primaire Nette (en anglais). Références scientifiques sur le calcul du taux d'appropriation et cartothèque :
<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/hanpp.html>
- Comment nourrir le monde en 2050 ? (FAO). Documents de travail produits par la FAO dans le cadre du Sommet Mondial sur la Sécurité Alimentaire (2009) :
<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/hlef-issues-briefs/fr/>
- Agriculture mondiale : horizon 2030 (FAO). Ce rapport examine l'avenir de l'agriculture et de l'alimentation (pêches et forêts comprises) dans le monde jusqu'en 2015 et 2030 :
<http://www.fao.org/docrep/004/y3557f/y3557f00.htm>

Eau et sols : deux ressources essentielles (p. 150-151)

Connaissances	Capacités et attitudes
L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau.	Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations.

1. Intentions pédagogiques

Cette activité a pour but de montrer l'importance primordiale de deux facteurs pour la production agricole : l'eau et le sol. On sait déjà que l'eau est indispensable à la croissance des plantes et on ne cherche pas à le démontrer. On met l'accent sur les effets de la quantité d'eau disponible, sur ses interactions avec le sol (capacités du sol à contenir de l'eau et à la mettre à la disposition des plantes). C'est l'occasion de montrer que tous les sols ne se valent pas. Leurs aptitudes agricoles diverses sont déclinées en terme de profondeur, de granulométrie, de teneur en matières organiques... sans que ces paramètres ne fassent l'objet d'une étude détaillée.

Ces objectifs cognitifs étant somme toute modestes, il est possible de travailler parallèlement une démarche d'investigation conduisant les élèves, individuellement ou par petits groupes, à concevoir et mettre en œuvre un protocole expérimental, à collecter des résultats, à les interpréter et les critiquer. Tel est l'objectif du **document 1**. Il fournit tout d'abord des pistes méthodologiques pour l'élaboration de protocoles expérimentaux visant à mettre en évidence les effets des facteurs sol et eau sur la productivité d'une culture. Il ne s'agit donc pas de faire appliquer des consignes, ou une recette mais de mettre les élèves en situation de recherche expérimentale autonome. Bien entendu, l'ampleur de ce travail peut être fortement modulée. Selon les modalités choisies par le professeur, les élèves devront donc raisonner avec rigueur, manipuler, observer, mesurer, exprimer et exploiter des résultats, communiquer... Quelques résultats expérimentaux (sous forme de tableau et de photographies) sont fournis et donc directement exploitables. Ils montrent très simplement l'importance des caractéristiques du sol, en termes de profondeur et de teneur en matières organiques.

Ce travail mené en classe peut être confronté à celui, forcément plus approfondi et fiable, des chercheurs ayant expérimenté au champ. C'est l'objet du **document 2**. Le choix s'est porté sur une étude très précise menée par une équipe pluridisciplinaire de l'INRA, au cours de laquelle une cartographie très détaillée d'une parcelle a été dressée, permettant la mise en relation des caractéristiques du sol, de sa réserve en eau et de la productivité primaire nette. 95 sondages pédologiques ont été réalisés, selon un maillage visible sur la carte a (points *a0* jusqu'à *g14*). Douze types de sols ont été identifiés et les contours de chaque unité de sol ont été tracés sur la carte. Les deux exemples de profils choisis ici (sols 1 et 2) présentent des caractéristiques contrastées qu'il est possible de rapprocher de celles qui ont été étudiées en classe. La carte b détaille sur une zone de cette même parcelle la teneur en eau au mois de janvier, mesurée par conductimétrie. Les contours pédologiques ont été reportés sur cette carte, ce qui fait clairement apparaître la relation qui existe entre la nature du sol et sa réserve en eau : le sol 1, argileux et profond, contient plus d'eau que le sol 2, sableux et superficiel. Enfin, la carte c présente les rendements en blé lors de la moisson 2003. Ces rendements extrêmement détaillés et précis ont été obtenus grâce à une moissonneuse

équipée d'un système de positionnement par satellite couplé à un capteur mesurant toutes les cinq secondes la quantité de grains entrant dans la machine. Comme précédemment, les contours pédologiques ont été reportés et permettent de mettre en relation nature du sol, réserves en eau et productivité primaire.

2. Pistes d'exploitation

1. On observe sur les photographies que, dans les pots de faible profondeur, les racines s'accumulent à la base du sol. On peut supposer que cela entrave leur rôle d'approvisionnement en eau et nutriments. On constate d'ailleurs que les feuilles dans le pot le moins profond sont plus courtes (environ 1 cm) que dans les deux autres pots. Cela est confirmé par la mesure de la biomasse produite après un mois de culture : elle est au moins 30 % supérieure dans un sol profond de 12 cm par rapport au sol profond de 6 cm. Par ailleurs, on constate aussi que dans le terreau, la production de biomasse est plus forte, à condition toutefois que le sol soit assez profond.

2. Exemple (plante utilisée : blé)

- Utiliser quatre pots de 20 cm de profondeur contenant du terreau horticole ;
- Semer la même quantité de grains de blés dans chaque pot, à la même date et mettre en culture dans les mêmes conditions d'éclairage et de température ;
- Préparer quatre solutions de salinité croissante ;
- Arroser chaque semaine chaque pot avec la même quantité d'eau différent seulement par le niveau de salinité ;
- Après un mois de culture, arracher puis photographier quelques plants de chaque lot ;
- Pesar quelques plantes issues de chaque lot.

3. On voit que sur le sol 1, argileux, profond, humide, le rendement est d'environ $8\ 000\ kg \cdot ha^{-1}$, soit environ deux fois plus que sur le sol 2, sableux, superficiel et sec. Un sol suffisamment profond, riche en argile et en eau semble donc plus favorable dans cette situation.

3. Ressources complémentaires

- Ouvrage de référence : « **Agriculture de précision** », coordination éditoriale de Martine Guérif, Dominique King, collection Update Sciences & Technologies, éditions Quæ, 2007.

Des ressources limitées et inégalement réparties (p. 152-153)

Connaissances	Capacités et attitudes
L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées.	Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations de façon à établir l'inégale répartition de ces deux ressources.

1. Intentions pédagogiques

La nécessité de sols cultivables et d'eau en quantité suffisante étant établie, il s'agit à présent de montrer que ces deux ressources sont disponibles en quantité limitée et très inégalement réparties à la surface des continents. Du point de vue des capacités mises en œuvre, il s'agira ici d'exercer les élèves à la lecture de cartes lors d'une première approche à l'échelle mondiale, et dans un second temps, à la saisie et à l'organisation d'informations extraites de textes et de photographies pour une approche à l'échelle régionale.

Les cartes des **documents 1 et 2** sont issues de la banque de cartes de la FAO (GeoNetwork). La première permet de constater qu'il existe de très vastes régions sur les continents qui ne permettent pas la culture des céréales (qui constituent la base de nos régimes alimentaires) dans de bonnes conditions. On voit aussi que les céréales qui nous sont les plus familières (blé, riz...) ne peuvent être cultivées efficacement que dans des zones géographiques bien délimitées. Les données chiffrées qui accompagnent la carte permettent de quantifier, d'une façon globale et pour toutes les cultures, les terres cultivables et cultivées. On peut alors s'interroger sur les raisons pour lesquelles certaines terres sont incultivables. Le texte du **document 1** en indique les principales causes.

La carte du **document 2** indique le niveau d'aridité des diverses régions. On dit qu'une région est aride si les précipitations y sont très inférieures à l'évapotranspiration potentielle. Cette notion est en fait plus complexe, car il faut tenir compte du régime des précipitations – en milieu aride, celles-ci sont non seulement faibles, mais rares et irrégulières – et de ses rapports avec le régime thermique, l'insolation, les vents, le relief... Les cinq classes retenues ici font référence à l'indice d'aridité (IA) retenu par les Nations Unies : $IA = P / ETP$ (P : pluviométrie annuelle ; ETP : évapotranspiration potentielle).

Hyper-aride	$IA < 0,05$
Aride	$0,05 < IA < 0,20$
Semi-aride	$0,20 < IA < 0,50$
Semi-humide	$0,50 < IA < 0,65$
Humide	$0,65 < IA$

Une lecture comparée des deux cartes permet de constater une bonne correspondance entre les zones de culture des céréales et les zones de faible aridité (degrés 3, 4 et 5). Cela montre l'importance de la disponibilité en eau pour les cultures. La superposition

n'est cependant pas parfaite et cela pourra faire l'objet de discussion avec les élèves : à l'évidence, d'autres facteurs interviennent.

Les **documents 3 et 4** doivent être abordés conjointement : ils permettent de comparer de façon très simple deux situations très contrastées quant à leurs ressources en eau et en sols.

2. Pistes d'exploitation

1. Pourcentage de terres cultivables = sols cultivables / terres émergées
= $4\ 200 \times 100 / 13\ 600 = 30,9\%$.

Pourcentage de terres cultivables effectivement cultivées = sols cultivés / sols cultivables
= $1\ 600 \times 100 / 4\ 200 = 38\%$.

2. La carte du document 1 montre qu'une large part des terres émergées n'est pas adaptée à la culture des céréales : tout l'ouest de l'Amérique du Nord, le nord et le sud de l'Afrique, le centre de l'Asie et de l'Australie. Sur le document 2, on constate que ces régions correspondent à des climats arides ou hyper-arides. Au contraire, les zones favorables à la culture des céréales sont toutes semi-arides, semi-humides ou humides. De plus, les différents types de céréales ne peuvent pas être efficacement cultivés dans les mêmes régions. Le mil, par exemple, ne peut être correctement cultivé que dans une mince bande située au sud du Sahara (Sahel) et dans quelques autres sites (nord de la Chine, de l'Australie, du Brésil...). Or, la carte du document 2 nous apprend que ces zones correspondent toutes à un climat semi-aride. Elles sont toutes situées en bordure de désert. Chaque type de céréales a ses propres besoins en eau et ne peut donc être cultivé efficacement que dans les zones climatiques où ces besoins peuvent être satisfaits.

3. Comparaison des conditions et pratiques agricoles en France et au Sahel.

	France	Sahel
Ressources en eau	<ul style="list-style-type: none">Abondantes (900 mm)Régulièrement réparties sur l'annéePeu variables d'une année à l'autre	<ul style="list-style-type: none">Rares (400mm)Concentrées sous forme de quelques gros orages se produisant entre juin et septembreTrès variables d'une année sur l'autre, d'un lieu à l'autre
Ressources en sols	<ul style="list-style-type: none">Riches en matières organiques et éléments nutritifsIntense activité biologiqueBonne capacité à retenir l'eau	<ul style="list-style-type: none">Très pauvres en matières organiquesTrès sableuxTrès faible capacité à retenir l'eau
Agriculture pratiquée	<ul style="list-style-type: none">Très productiveTrès consommatrice d'engrais, de produits phytosanitaires, d'énergie et de travail	<ul style="list-style-type: none">Faiblement productiveTrès peu consommatrice : pas d'engrais, pas d'irrigation ni de produits phytosanitaires, travail réduit au strict minimum

3. Ressources complémentaires

- Ressources en terres (FAO). Site de la FAO consacré à l'inventaire des ressources en terres, à leur utilisation, leur gestion, leur dégradation :
<http://www.fao.org/nr/land/lr-home/fr/>
- GeoNetwork – Portail pour l'information géo-spatiale. Portail FAO donnant accès à des cartes interactives, des données, des images satellites... :
<http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/main.home>

Agriculture, alimentation et énergie (p. 154-155)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle. - La biomasse végétale produite par l'agriculture est une source de nourriture mais aussi une source de combustibles ou d'agrocarburants. Ces deux productions entrent en concurrence. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement. - Comprendre les éléments d'un débat. Manifester un intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société à l'échelle planétaire.

1. Intentions pédagogiques

Précédemment, on a mis en évidence l'importance de l'eau et des sols cultivables, ainsi que leur rareté relative et leur inégale répartition. Il s'agit à présent de montrer qu'avec ces ressources naturelles, on produit non seulement nos aliments mais aussi d'autres produits, dont des combustibles et des carburants. Il y a donc concurrence, à différents niveaux, entre les cultures alimentaires et les autres.

La concurrence s'exerce directement sur les ressources en eau et sols, comme le montrent les **documents 1 et 4**: le bois est un des combustibles les moins chers, ce qui favorise non seulement son exploitation mais aussi sa culture. De même, les cultures destinées à la production d'agrocarburants utilisent des terres et de l'eau qui étaient utilisées, ou pourraient être utilisées, pour la production d'aliments. Le **document 3** donne quant à lui un exemple de conséquence indirecte de cette concurrence : en limitant la production de denrées alimentaires ou en détournant une partie de ces denrées pour la fabrication d'agrocarburants ou de combustibles, on contribue à leur raréfaction et à l'augmentation du prix de ces matières premières.

Le **document 2** présente les principales filières actuelles de production des agrocarburants. L'intérêt est surtout d'introduire les élèves au débat sociétal sur l'opportunité de ces carburants. Le lien peut être fait avec les activités des pages 136-137 (Quelle énergie pour demain ?) et surtout avec les documents 1, 2 et 4.

2. Pistes d'exploitation

1. Le bois de chauffage est un des combustibles les moins chers, comme le montre le graphe du document 1 : le kWh produit à partir de bois déchiqueté est par exemple 3,5 fois moins cher que celui produit à partir de fioul. On sait aussi que la population mondiale ne cesse d'augmenter, ce qui augmente la demande énergétique et favorise la hausse des prix des carburants fossiles. Selon le document 2, cette hausse des prix des carburants fossiles ainsi que la lutte contre le réchauffement climatique favorisent le développement des agrocarburants.

2. Les agrocarburants sont produits à partir de colza, tournesol, betterave et canne à sucre, blé, maïs, pomme de terre...

3. Les critiques concernant les agrocarburants sont multiples. On reproche aux cultures destinées aux agrocarburants d'être souvent réalisées au prix d'une déforestation intense, ce qui détruit des milieux naturels et a un impact très négatif sur la biodiversité.

Dans tous les cas actuels, elles utilisent des terres et de l'eau qui pourraient servir à produire des aliments, ce qui fragilise la sécurité alimentaire des populations (rarefaction et hausse des prix des denrées alimentaires).

4. Les agrocarburants de seconde génération sont, pour certains, produits à partir de cultures non alimentaires. Ceux-ci n'entrent donc pas en concurrence avec les denrées alimentaires, ni sur le plan de la disponibilité, ni sur celui de leurs prix. D'autres sont produits à partir de résidus agricoles et forestiers. Ils présentent le même avantage, et de plus n'utilisent aucune ressource en sol ou en eau spécifique : ils n'entrent donc pas en concurrence avec les cultures alimentaires pour ces deux ressources.

3. Ressources complémentaires

- Les agrocarburants. Dossier publié par l'IFP (Institut Français du Pétrole) faisant le point du contexte, des filières de production, de la recherche et des perspectives de développement des agrocarburants :
<http://www.ifp.fr/actualites/dossiers/les-biocarburants>
- Le passage du pétrole à la bioénergie n'est pas sans risque. Document de l'Union Européenne pointant les conséquences négatives du développement des agrocarburants :
<http://www.eea.europa.eu/fr/articles/si-la-bioenergie-decolle-2014-le-passage-du-petrole-a-la-bioenergie-nest-pas-sans-risque>
- Les biocarburants (FAO). Perspectives, risques et opportunités des biocarburants :
<http://www.fao.org/docrep/011/i0100f/i0100f00.htm>

La correction des exercices 1 à 4 figure dans le manuel de l'élève, p. 256.

5 Évaluer l'ampleur de la déforestation

Réponses rigoureuses :

- a. Le texte évoque des « estimations fondées sur les déclarations des pays ».
 - b. Il s'agit du même site photographié à 10 ans d'intervalle et on voit bien une régression du couvert forestier.
- Réponse non rigoureuse :
- c. Si ces images prouvent que la déforestation continue sur ce site amazonien, elle ne prouve pas que cela soit également le cas à l'échelle mondiale.

6 Déterminer l'humidité utile d'un sol

On attend :

- Une utilisation minutieuse du matériel dans le respect du protocole. En particulier, un grand soin doit être apporté dans les pesées, les transferts d'échantillons. Le repérage des différentes fractions est aussi essentiel pour ne pas les confondre.
- Un calcul de pourcentage à partir des résultats de pesée obtenus.
- Une utilisation rigoureuse et précise du triangle des textures (en s'aidant si besoin de l'exemple figurant sur le triangle).
- Une détermination correcte de la texture et de l'humidité utile du sol étudié.
- Une exploitation du tableau mise en relation avec les résultats expérimentaux montrant que l'humidité utile d'un sol dépend en partie de sa texture.
- Une mise en relation logique des différences de texture, d'humidité utile et de rendement.

Les sols, enveloppes vivantes et fragiles

Activités pratiques

1

La formation d'un sol, une longue histoire (p. 162-163)

Connaissances	Capacités et attitudes
Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température.	Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : – comprendre la formation d'un exemple de sol ; – relier végétation, climat, nature de la roche mère et nature d'un exemple de sol.

1. Les intentions pédagogiques

L'objectif de ces pages est de montrer, sur la base d'un exemple local, comment se constitue un sol. On insiste sur la lenteur extrême du processus, afin d'aboutir à l'idée que, d'une façon générale, les sols ne sont pas des ressources renouvelables à l'échelle d'une vie humaine. La pédogenèse est ici étudiée de façon générale, sans entrer dans les processus aux échelles microscopiques ou moléculaires, qui seront l'objet des pages suivantes. On introduit simplement les grands facteurs de la formation du sol (climat, roche mère, végétation) et leurs interactions sont signalées. Les notions d'altération, d'humus et d'horizon sont abordées et seront reprises par la suite.

Les trois documents de ces pages traitent d'un même exemple, celui de la formation des sols sur les coulées basaltiques de l'île de la Réunion. L'intérêt pédagogique de ce site tient au fait que depuis plus de 250 000 ans et jusqu'à aujourd'hui, le Piton de la Fournaise produit des coulées tout à fait comparables. En observant les sols présents sur des coulées d'âges différents, on peut avoir une idée de la façon dont se forme et évolue un sol sur une coulée quelconque.

Le **document 1** propose tout d'abord une image de l'île de la Réunion sur laquelle les coulées ont été distinguées en fonction de leurs tranches d'âge (superposition de carte géologique sur image Google Earth). On constate ainsi que les terrains sont d'âges très différents, chacun étant repéré par un code de couleur (celui-ci est repris sous la forme d'une bande colorée en bas et à gauche de chaque photographie des documents 1 à 3). Le texte et les photographies du document 1 sont consacrés aux toutes premières étapes de la pédogenèse, c'est-à-dire aux premiers siècles suivant la mise en place de la coulée.

Les **documents 2** et **3** répondent à la même logique : on observe et on décrit le sol au cours de son évolution. Il convient d'insister sur les différences d'échelles de temps. Si 10 000 ans environ séparent les sols des documents 1 et 2, ceux des documents 2

et 3 sont quant à eux séparés par plus de 200 000 ans. Précisons que la photographie du document 3 a été prise sur les pentes du Piton des Neiges, édifice volcanique voisin du Piton de la Fournaise. Malgré sa localisation, l'illustration reste pertinente : le sol est bien développé sur une coulée basaltique d'âge comparable aux anciennes coulées de la Fournaise.

2. Pistes d'exploitation

1. L'altération de la roche mère est due aux pluies, à l'air, à la chaleur..., c'est-à-dire au climat de la région où se forme le sol. Les matières organiques commencent à s'accumuler grâce aux êtres vivants qui colonisent la roche mère : lichens, végétaux, insectes, bactéries...

2. Pour ce schéma, on attend principalement :

- dessin des deux coupes (à 10 000 et à 250 000 ans) côte à côte, avec un même niveau de surface ;
- respect d'une même échelle verticale graduée en décimètres ;
- figuration des différents horizons (A et R pour le premier schéma, A, B, C et R pour le second) ;
- légendes des différents horizons et titre explicatif.

3. On a constaté avec cet exemple que des milliers d'années sont nécessaires pour passer d'une roche nue à un sol cultivable. À l'échelle d'une vie humaine, on peut donc affirmer que ce sol n'est pas une ressource renouvelable. D'autres exemples comparables montreraient que c'est également le cas pour l'ensemble des sols cultivables.

3. Ressources complémentaires

- Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol). GIS Sol constitue et gère un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités :
<http://www.gissol.fr/index.php>
- Association Française pour l'Etude du Sol (AFES). Site associatif contenant entre autres une banque de photos et descriptions de sols :
<http://www.afes.fr/>
- Les sols, des milieux vivants très fragiles (IRD). Document très complet sur la nature des sols, leurs fonctions, les dégradations, la gestion durable, etc. :
<http://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/sols/index.html>

Les facteurs essentiels de la formation d'un sol (p. 164-165)

Connaissances	Capacités et attitudes
Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température.	<p>Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="641 312 1068 315">– comprendre la formation d'un exemple de sol ; <li data-bbox="641 317 1084 332">– relier végétation, climat, nature de la roche mère et nature d'un exemple de sol.

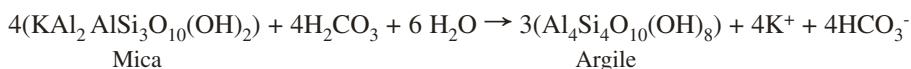
1. Les intentions pédagogiques

Les grandes lignes de la formation d'un sol ayant étant dressées dans les activités précédentes, on étudie ici plus en détail les principaux facteurs de la pédogenèse et leurs interactions. On précise la notion d'altération, on identifie l'origine de la matière organique et ses interactions avec les fractions minérales (figurées ou dissoutes) et avec l'eau. On montre ainsi l'importance de l'humus dans les propriétés des sols, particulièrement dans leur fertilité. Ces activités peuvent être rendues plus concrètes grâce à des manipulations, observations et expériences simples réalisables en classe.

Les documents 1 et 2 sont consacrés aux processus physico-chimiques de transformation de la roche mère en sol. Bien que l'accent soit mis sur les facteurs climatiques (phénomène d'hydrolyse, gélification), le rôle des êtres vivants dans ces processus est aussi abordé. Par ailleurs, on distingue les processus mécaniques (dégradations physiques) et chimiques (altération chimique).

Dans le **document 1** consacré aux dégradations physiques, on s'appuie sur un exemple de sol développé à partir d'une roche calcaire. On observe la roche mère, et dans le sol sus-jacent, des fragments de cette même roche. S'agissant de calcaire, le test à l'acide chlorhydrique permet de confirmer que les fragments rocheux observés dans le sol sont bien de même nature que la roche mère. Cette activité peut donner lieu à des observations et manipulations simples, sur des échantillons de sols développés sur différentes roches mères.

Le **document 2** reprend la notion d'altération chimique déjà abordée précédemment, en la plaçant cette fois à l'échelle minéralogique et chimique. On évoque le processus d'hydrolyse, illustré par l'observation de minéraux argileux (kaolinite) se formant à partir d'un cristal de mica blanc (muscovite). Pour information, l'équation bilan de cette hydrolyse est la suivante :



Outre la transformation des minéraux de la roche mère, cet exemple d'équation bilan illustre aussi la libération d'ions minéraux, dont on peut rappeler l'utilité dans la croissance des plantes.

Du point de vue des capacités, notons que cette activité peut être l'occasion d'une première initiation à l'utilisation du microscope polarisant.

Après avoir précisé l'origine de la matière organique des sols, le **document 3** présente sous la forme d'un schéma simple la notion de complexe argilo-humique. Le rôle de ce complexe dans la rétention des ions positifs est ainsi présenté et fait ensuite l'objet

d'une démonstration expérimentale (expérience 2). Cette expérience peut être facilement reproduite en classe. On pourra à cette occasion demander aux élèves de concevoir et de mettre en œuvre une ou plusieurs expériences témoins. L'expérience 1 fonctionne sur le même principe mais il s'agit ici de démontrer le rôle de l'humus dans la capacité du sol à retenir l'eau (humidité utile). On peut faire le lien entre cette expérience et celle de la page 150, ainsi qu'avec l'exercice 6, p 159.

Le rôle des êtres vivants du sol, déjà envisagé au collège, peut faire l'objet d'une approche expérimentale, ici proposée en exercice d'évaluation (exercice 9, p. 177)

2. Pistes d'exploitation

1. Le sol photographié présente deux horizons d'épaisseurs sensiblement égales, sans limites bien nettes entre eux : près de la surface, un horizon humifère (couleur brun sombre) dans lequel on observe de nombreuses racines et des débris végétaux. En dessous, un horizon d'altération brun plus clair contenant encore des racines et surtout de nombreux fragments rocheux très clairs. Le test à l'acide prouve qu'il s'agit de calcaire : ces fragments sont de même nature que la roche située sous le sol, il est très probable qu'ils en sont issus.

2. L'installation des êtres vivants pionniers participe à la dégradation physique et à l'altération chimique de la roche (fissuration et hydrolyse provoquées par les racines...). Inversement, la fissuration de la roche facilite la circulation de l'eau et le développement des racines. L'altération libère des ions qui favorisent la nutrition des plantes, des bactéries. Les deux phénomènes sont donc associés étroitement et s'amplifient mutuellement.

3. Expérience 1 : on recueille davantage d'eau dans le cas du sol privé d'humus par rapport au témoin, riche en humus. On en déduit que l'humus permet une meilleure rétention de l'eau dans le sol (il augmente l'humidité utile).

Expérience 2 : lorsqu'une terre riche en humus est traversée par une solution contenant des ions négatifs, ceux-ci se retrouvent dans le tube à essai (couleur rouge). On en déduit que l'humus ne retient pas les ions négatifs. Lorsque l'expérience est renouvelée avec une solution contenant des ions positifs, ceux-ci ne se retrouvent pas dans le tube à essai (pas de couleur bleue). On en déduit que l'humus retient les ions positifs. En augmentant l'humidité utile du sol, ainsi que sa capacité à retenir les ions positifs, l'humus contribue à la fertilité du sol. En s'associant aux particules d'argile par l'intermédiaire des ions positifs, l'humus contribue à stabiliser les particules fines du sol.

3. Ressources complémentaires

- L'altération des roches (Faculté des Géosciences et de l'Environnement - Université de Lausanne). Inventaire des grands types d'altération (Pour les enseignants) :
<http://objectif-terre.unil.ch/index.php?id=2802&L=>

Les sols, ressources menacées (p. 166-167)

Connaissances	Capacités et attitudes
Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations. - Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

1. Intentions pédagogiques

On a montré précédemment comment se forme un sol, phénomène très long et très complexe. Le caractère non renouvelable des sols est donc bien établi. Il s'agit à présent d'en montrer la fragilité et d'identifier les principales menaces qui pèsent sur eux. On distinguera les destructions de sols, phénomènes irréversibles, très rapides, le plus souvent intentionnels et les dégradations de sols, phénomènes dans une large mesure réversibles, lents, involontaires.

Pour la majorité des élèves, destructions et dégradations de sols passent le plus souvent inaperçues. Ces activités doivent donc permettre aux élèves de prendre conscience de notre responsabilité dans la détérioration de cette ressource vitale.

Outre l'analyse de documents, des modélisations simples peuvent être menées sur ce thème.

Le **document 1** présente quelques causes de destruction des sols et dresse un bilan quantitatif aux échelles mondiale et française. Il est à noter que des données comparables peuvent être consultées à des échelles régionales, départementales, cantonales et même communales (voir ci-dessous «Ressources complémentaires»). Cela peut être le moyen d'une prise de conscience encore plus forte car ancrée dans l'environnement immédiat des élèves.

Les documents 2 à 4 présentent trois causes de dégradation des sols, toutes liées aux pratiques agricoles les plus courantes dans les pays développés. Ainsi, le **document 2** montre que l'érosion hydrique est largement favorisée par l'absence de couverture végétale : c'est la situation la plus fréquente des sols arables français qui peuvent rester nus pendant plusieurs mois par an (entre le labour estival et la levée printanière). On pourra faire le lien avec le document 3, p. 169. Le rôle des lombrics et leur importance dans la structuration et le fonctionnement du sol sont abordés dans le **document 3**, ainsi que les causes de régression de leurs populations. On pourra à cette occasion faire le lien avec le **document 4** qui traite du problème de la compaction liée au passage des engins agricoles. En effet, les lombrics sont des agents décompactants. On pourra aussi faire le lien avec le document 4 de la page 169.

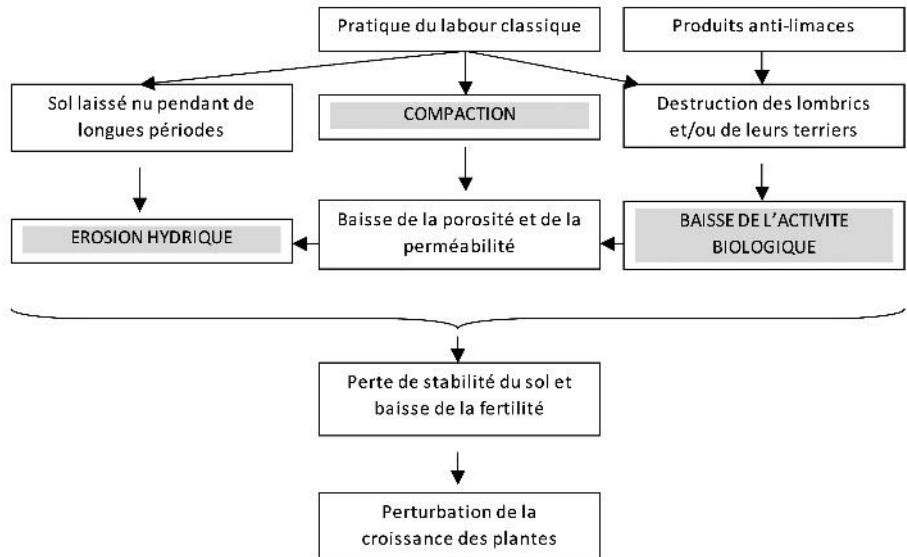
2. Pistes d'exploitation

- Sur cette photographie, on observe des zones où le sol conserve ses fonctions biologiques : terres arables, cultures permanentes (sylviculture), prairies, milieux à végétation arbustive (haies, bosquets...). On observe aussi des zones où le sol est artificialisé, perdant une partie ou la totalité de ses fonctions biologiques : routes et emprises de

routes (échangeur), zones pavillonnaires, zones commerciale et industrielle. D'après le graphique, ces zones commerciales et industrielles sont justement la principale cause de disparition des sols en France.

2. Cette expérience montre que la quantité d'eau et de particules fines qui sortent du récipient incliné est maximale lorsque le sol est nu et sec, moindre lorsque le sol nu et humide, et encore plus faible si le sol est enherbé. L'érosion hydrique est donc favorisée par l'absence de couverture végétale ainsi que par la sécheresse du sol.

3. Quelques dégradations du sol et leurs conséquences sur les cultures :



3. Ressources complémentaires

- Cartographie interactive Géoidd France. Outil de cartographie interactive d'indicateurs statistiques et de données géographiques à l'échelle de la France (occupation du sol, érosion, biodiversité...):
<http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/bases-de-donnees/cartographie-interactive-geoidd-france.html?print=>
- Agriculture de conservation. Le portail des agricultures écologiquement intensives:
<http://www.agriculture-de-conservation.com/>

Vers une gestion durable des sols (p. 168-169)

Connaissances	Capacités et attitudes
Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations. - Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

1. Intentions pédagogiques

Au cours des activités précédentes, on a pu constater l'importance des sols, leur caractère non renouvelable et leur grande fragilité. L'objectif est à présent double : dans un premier temps, on montrera à partir d'un exemple régional à quoi peut conduire le processus de dégradation des sols, c'est-à-dire la transformation de sols fertiles en désert. Dans un second temps, on présentera de façon succincte des travaux de recherche agronomique visant à tester l'impact de différentes techniques agricoles sur l'érosion hydrique et sur l'activité biologique des sols, dont on a vu préalablement l'importance en terme de fertilité. Ces activités viseront à faire comprendre aux élèves qu'au-delà de notre responsabilité dans la détérioration de la ressource « sols », des alternatives sont possibles, qu'il est très important et très urgent d'aller vers une gestion durable des sols cultivables de la planète.

Le **document 1** est consacré à la désertification qui touche le nord de la Chine. Même s'il s'agit d'un exemple lointain, il est suffisamment spectaculaire dans ses causes, sa rapidité et son ampleur pour constituer une référence dans l'esprit des élèves. De plus, dans la perspective de « nourrir l'humanité », le cas de la Chine est évidemment un enjeu majeur. On pourra élargir l'étude de ce document sur le thème de la sécurité alimentaire, en relation avec les activités des pages 148 et 149. Avec le **document 2**, on aborde un autre aspect de la désertification. Est-il possible de l'arrêter, avec quels moyens et à quel prix ? On constate que si les moyens mis en œuvre sont dans le cas chinois très ambitieux et souvent drastiques, si le coût financier et humain est très élevé, les résultats ne sont pour autant pas assurés. On aboutit à l'idée qu'une gestion durable des sols est nécessaire afin d'éviter d'arriver à cette situation de détérioration extrême, qui peut devenir irréversible.

Les **documents 3 et 4** sont tirés d'études récentes menées par différents laboratoires de l'INRA. Les protocoles expérimentaux sont décrits, ainsi que les principaux résultats. Les élèves sont donc amenés à exploiter ces résultats. C'est l'occasion pour eux de comprendre l'intérêt de la recherche agronomique et de percevoir le lien entre sciences et techniques. Il paraît important également de faire le lien entre les techniques agricoles, qui font partie du quotidien de nos zones rurales, et les conséquences négatives ou positives qu'elles peuvent avoir sur notre environnement. Ces documents présentent aussi l'intérêt de montrer la complexité de ce type de problématique. On voit en effet qu'interviennent de nombreux facteurs : le type de culture (annuelle ou permanente), la pente, le type de sol, le climat, le type de travail du sol, le mode de gestion des plantes adventices, de la fertilisation, des restes de récolte...

2. Pistes d'exploitation

1. La « grande barrière verte » a pour but de compenser la déforestation massive et ses conséquences (érosion éolienne, perte de fertilité). L’interdiction totale du pâturage, la promotion de la stabulation fermée et le déplacement de populations visent à freiner la surexplotation des pâturages, afin que l’herbe puisse se réinstaller, participer à la lutte contre l’érosion éolienne et contribuer à la restauration de la fertilité du sol (apports de matières organiques). Ces trois mesures ont aussi pour but de retrouver des niveaux d’eau dans les nappes et rivières suffisamment élevés pour que la végétation (et en particulier les arbres) puissent en bénéficier.
2. La modalité « enherbement obtenu par semis » semble la meilleure : elle limite fortement le ruissellement, à un niveau comparable à celui de la modalité « travail du sol superficiel », et est la plus efficace pour lutter contre l’érosion hydrique.
3. Dans la parcelle A, les vers de terre sont très peu abondants (40 par m²). On peut supposer qu’ils sont détruits par les labours profonds et réguliers, par certains pesticides. L’absence d’apports de matière organique leur est sans doute aussi défavorable puisque c’est pour eux une source de nourriture. Dans la parcelle B, ils sont un peu plus abondants (60 par m²). Cela est à mettre en relation avec la limitation des pesticides et un travail du sol plus superficiel. Cela est confirmé par la comparaison avec la parcelle D : sans apport de pesticides chimiques et avec un travail du sol différent, combinant labour et semis direct, les vers sont encore plus abondants (100 par m²). Enfin, le meilleur résultat est obtenu dans la parcelle C, dans laquelle on observe 140 lombrics par m². Dans cette parcelle, le sol n’est jamais labouré (semis direct) et toujours recouvert des restes de la culture précédente, qui constituent une litière, source de nourriture pour certains lombrics.
4. Dans les trois parcelles B, C et D on observe des vers de terre épigés, c’est-à-dire vivant près de la surface. Ils sont même très abondants dans la parcelle D. Ils sont en revanche totalement absents de la parcelle A. Cela s’explique probablement par leur habitat superficiel, qui les rend très sensibles aux pratiques culturales. Ils sont tués par les labours, certains pesticides, et ne trouvent pas assez de nourriture en absence de litière, de résidus de récolte ou d’apports de matières organiques.

3. Ressources complémentaires

- Ouvrage de référence : « Gestion durable des sols », coordination éditoriale de Laëtitia Citeau, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King, collection Savoir faire, éditions Quæ, 2008.
- Vidéo : Le train de la désertification (France 5). En empruntant ce « Train de la désertification » nous découvrons l’une des plus grandes catastrophes écologiques mondiales (vidéo interactive, 12 minutes) :
[http://documentaires.france5.fr/webdocs/portraits-d'un-nouveau-monde-chine/train-de-la-desertification](http://documentaires.france5.fr/webdocs/portraits-d-un-nouveau-monde-chine/train-de-la-desertification)
- Les fermes urbaines (Le Monde.fr). Quand l’architecture urbaine se préoccupe de gestion durable des sols :
<http://publi.lemonde.fr/intel-innovation/fermes-urbaines.html>
- Effets des pratiques culturales sur le ruissellement et l’érosion (INRA). Pour en savoir plus sur la recherche évoquée dans le document 3 p 169 :
http://www.umr-lisah.fr/download.php?f=effets_pratiques_culturales.pdf
- La Chine au bord du gouffre, la désertification gagne du terrain (revue Vertigo). Article traitant de la désertification en Chine (causes, effets et solutions) :
<http://vertigo.revues.org/5327>

La correction des exercices 1 à 4 figure dans le manuel de l'élève, p. 256.

5 | La terre des villes et la terre des champs

Les bonnes réponses sont :

1. Réponse c.
2. Réponses a ; c ; d.

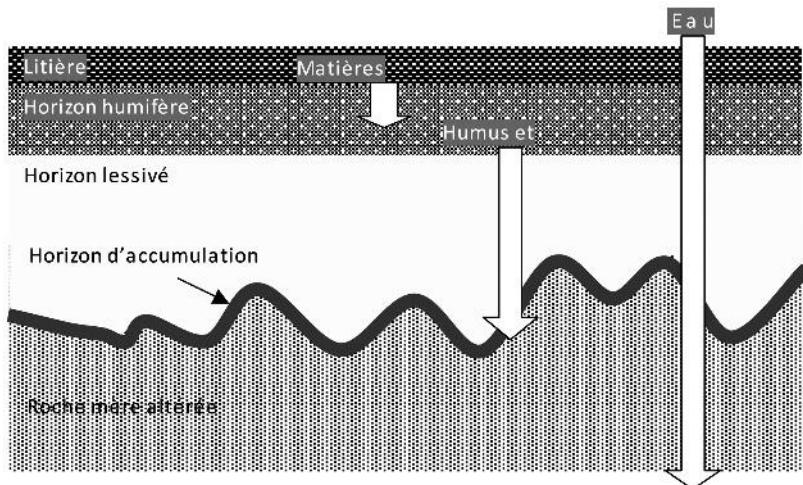
6 | Exercice guidé : dans le désert, un sol particulier

La formation des sols repose d'une façon générale sur l'interaction de facteurs climatiques, biologiques et géologiques. Dans le cas étudié ici, le sol résulte presque uniquement de l'altération de la roche mère sous l'effet des facteurs climatiques (altération forte dans l'horizon S, plus limitée dans l'horizon C).

La nature de la roche n'est pas connue, mais on observe une pente assez forte. On voit d'ailleurs que là où la pente est plus faible, le sol est entièrement recouvert de sable (bas-fonds). Concernant le climat, il est extrêmement aride : précipitations très faibles et concentrées sur un seul mois de l'année, températures très élevées, vents violents fréquents. La végétation ne se développe dans ces conditions que très brièvement lors des rares pluies : la photographie nous montre un paysage entièrement minéral. Les versants sont recouverts d'une mince pellicule de cailloux (reg) : la roche mère est soumise à d'intenses variations thermiques nycthémérales, ce qui la fait éclater, et produit des fragments de toutes tailles. Les plus gros d'entre eux continuent à se fracturer, tandis que les plus fins sont exportés par les vents violents et vont s'accumuler dans les bas-fonds (sables) voire beaucoup plus loin encore (limons, argiles). La pellicule de cailloux ainsi formée limite l'érosion de la roche altérée située en dessous, qui peut alors évoluer en sol. Celui-ci est pratiquement dépourvu de matières organiques, ce qui s'explique simplement par les conditions climatiques extrêmes, incompatibles avec le développement de la végétation.

7 | Des transferts de matières se produisent dans les sols

Schéma d'un podzol et des transferts de matière entre ses horizons.



8 Les sols et le changement climatique

1. Le Pas-de-Calais, le Nord, la Somme, le Morbihan ou la Charente sont des départements qui connaissent une diminution de la teneur en carbone de leurs sols. Ce carbone est renvoyé vers l'atmosphère sous forme de CO₂ et contribue au réchauffement climatique mondial. Inversement, des départements comme les Côtes d'Armor, la Seine-et-Marne ou l'Eure-et-Loir voient globalement leurs stocks de carbone augmenter dans les sols. Cette tendance au stockage du carbone tend à extraire du CO₂ de l'atmosphère et contribue donc à limiter le réchauffement climatique mondial.

2. Le graphique «Évolutions du stock de carbone dans le sol associées aux changements d'usage des terres» indique que la conversion de prairies ou de forêts en cultures se solde au cours des soixante années suivantes par une diminution de 20 à 30 tonnes de carbone par hectare de sol. Au contraire, la conversion de cultures en forêts ou prairies se solde par une augmentation lente (elle s'étale sur plus d'un siècle) du stock de carbone, comprise entre 20 et 30 tonnes de carbone par hectare de sol. De ce point de vue, il conviendrait donc de favoriser la conversion de sols actuellement cultivés, en prairies ou forêts. Le graphique «Effet du labour et de l'absence de labour sur la teneur en matière organique dans le sol» indique que le labour classique se solde par une teneur en matière organique dans les 12 premiers centimètres sous la surface nettement plus faible qu'en l'absence de labour. De ce point de vue, il faudrait donc favoriser la pratique des cultures sans labour.

9 Comparer les arthropodes de différents sols

On attend tout ou partie des points suivants :

- Une utilisation de l'appareil de Berlèse conforme aux indications de l'exercice, sur une durée d'au moins une semaine.
- Une utilisation de la loupe binoculaire et du microscope conforme aux consignes habituelles pour ces outils d'observation.
- La détermination d'au moins trois sortes de microarthropodes grâce à une clé de détermination ou une estimation de l'abondance globale des microarthropodes à l'aide d'une lame de Malassez.
- Après mise en commun de résultats obtenus avec différents sols, construction d'un tableau ou d'un graphique comparatif.
- L'élaboration d'au moins une hypothèse permettant d'expliquer les différences de diversité ou d'abondance constatées.
- En relation avec les connaissances, la rédaction d'un court texte mettant en relation le niveau d'activité biologique d'un sol et sa fertilité.



Partie 3

Corps humain et santé

Chapitre 1	L'effort physique nécessite de l'énergie	115
Chapitre 2	Les réponses de l'organisme à l'effort physique	121
Chapitre 3	La régulation nerveuse de la pression artérielle	130
Chapitre 4	Pratiquer une activité physique en préservant sa santé	138



Les objectifs généraux de cette partie

Selon les textes officiels, les trois grandes parties du programme de la classe de 2^{de} doivent être abordées d'une manière équilibrée. Il apparaît donc raisonnable de consacrer un tiers du temps annuel à cette troisième partie. Le manuel propose une large palette d'activités qui s'inscrivent dans les objectifs précisés par le programme : cependant, toutes ces activités ne sont pas obligatoires et il sera nécessaire de faire des choix, de façon à ménager le temps nécessaire pour traiter les deux autres parties du programme. On peut par exemple choisir d'illustrer telle notion par une activité pratique expérimentale alors qu'une autre notion sera simplement et plus rapidement exposée. Cette liberté pédagogique du professeur est du reste spécifiée par le préambule du programme.

Le thème « **Corps humain et santé** » s'inscrit dans la continuité des programmes de collège, dans une logique d'approfondissement. Une double page permet de mobiliser rapidement les acquis essentiels du collège sans qu'il soit nécessaire de les redémontrer.

Cette thématique, centrée sur l'organisme humain, permet à chacun de comprendre le fonctionnement de son organisme, ses capacités et ses limites. Elle prépare à l'exercice des responsabilités individuelles, familiales et sociales et constitue un tremplin vers les métiers qui se rapportent à la santé (médecine, odontologie, diététique, épidémiologie). La connaissance du corps et de son fonctionnement est indispensable pour pratiquer un exercice physique dans des conditions compatibles avec la santé. Cela passe par la compréhension des effets physiologiques de l'effort et de ses mécanismes dont on étudie ici un petit nombre d'aspects.

Cette partie du programme permet de développer un certain nombre de compétences :

- **Des connaissances** : les objectifs cognitifs sont relativement modestes dans la mesure où, dans cette partie du programme, ils sont largement de l'ordre de la stabilisation des acquis du collège.

Par exemple, les modifications physiologiques à l'effort (augmentation de la fréquence cardiaque, de la ventilation pulmonaire et de la consommation de dioxygène) sont connues depuis le collège ; il s'agit ici d'aborder des quantifications plus précises ainsi que des notions nouvelles comme la $\dot{V}O_2$ max et la boucle de régulation nerveuse de la pression artérielle.

- **Des capacités** : cette partie du programme permet de mettre en œuvre diverses activités expérimentales, manipulatoires. Les élèves seront notamment amenés à appliquer des protocoles expérimentaux, ExAO notamment (débit ventilatoire, fréquence cardiaque, consommation de dioxygène, variations de la pression artérielle...), à réaliser des observations (dissections, observations microscopiques de cellules). Les élèves pratiqueront les étapes essentielles de la démarche d'investigation : observation, questionnement, formulation d'hypothèses, expérimentation, raisonnement, communication sous forme de tableaux ou de graphes.

- **Des attitudes** : dans cette partie, les élèves auront l'occasion de prendre conscience de leur responsabilité face à la santé et d'avoir une bonne maîtrise de leur corps. En particulier, le dernier chapitre doit leur permettre de prendre conscience des bienfaits de la pratique d'activités sportives dans le respect des règles de sécurité et, parallèlement, les dangers de l'utilisation de substances dopantes.

Cette troisième partie du programme est découpée en quatre chapitres : le **chapitre 1** est consacré aux besoins énergétiques du corps humain en relation avec la pratique d'activités physiques. Le **chapitre 2** permet de consolider les acquis du collège sur les réponses de l'organisme à l'effort physique, en particulier en recherchant au niveau du cœur les structures anatomiques responsables de la circulation à sens unique du sang dans l'appareil circulatoire qui, elle, est connue depuis le collège. Le **chapitre 3** est consacré à l'étude d'une boucle de régulation nerveuse, sur l'exemple de la pression artérielle (le chapitre n'est pas « la régulation de la pression artérielle » mais simplement l'étude simplifiée de la boucle nerveuse intervenant dans cette régulation). Le **chapitre 4** enfin est nettement orienté vers une éducation à la santé (comment pratiquer une activité sportive en pré servant sa santé ?).

Une correspondance entre le programme officiel et les chapitres du manuel

Connaissances	Les chapitres du manuel
<p><i>Des modifications physiologiques à l'effort</i></p> <p>Au cours d'un exercice long et/ou peu intense, l'énergie est fournie par la respiration, qui utilise le dioxygène et les nutriments.</p> <p>L'effort physique augmente la consommation de dioxygène :</p> <ul style="list-style-type: none"> - plus l'effort est intense, plus la consommation de dioxygène augmente ; - il y a une limite à la consommation de dioxygène. <p>La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. L'exercice physique est un des facteurs qui aident à lutter contre l'obésité.</p>	<p>chapitre 1</p> <p>L'effort physique nécessite de l'énergie (pages 182-197)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 La dépense énergétique associée à l'effort</p> <p>Act. 2 La couverture des besoins énergétiques pendant l'effort</p> <p>Act. 3 Des limites à la performance</p> <p>Act. 4 Des moyens pour éviter le surpoids</p>
<p>Au cours de l'effort un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque) ; fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) ; pression artérielle.</p> <p>Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène et en nutriments. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié.</p> <p>Un bon état cardiovasculaire et ventilatoire est indispensable à la pratique d'un exercice physique.</p>	<p>chapitre 2</p> <p>Les réponses de l'organisme à l'effort physique (pages 198-215)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Effort physique et variations du débit ventilatoire</p> <p>Act. 2 Effort physique et variations du débit cardiaque</p> <p>Act. 3 Le cœur et la propulsion du sang dans les vaisseaux</p> <p>Act. 4 L'approvisionnement des muscles en dioxygène</p> <p>Act. 5 Fonction cardio-respiratoire et pratique d'un sport</p>

<p><i>Une boucle de régulation nerveuse</i></p> <p>La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres. Par exemple, il existe une boucle réflexe de contrôle de la fréquence cardiaque (dont la pression artérielle dépend par l'intermédiaire du débit) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ; - un centre bulbaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (cœur) ; - les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques. <p>La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. À l'effort, l'organisme s'écarte de cette situation standard.</p>	<p>chapitre 3</p> <p>La régulation nerveuse de la pression artérielle (pages 216-231)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Pression artérielle et fréquence cardiaque Act. 2 Une modulation nerveuse de la fréquence cardiaque Act. 3 Un contrôle réflexe de la pression artérielle</p>
<p><i>Pratiquer une activité physique en préservant sa santé</i></p> <p>Le muscle strié squelettique et les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé. Les accidents musculo-articulaires s'expliquent par une détérioration du tissu musculaire, des tendons, ou de la structure articulaire.</p> <p>Au cours de la contraction musculaire, la force exercée tire sur les tendons et fait jouer une articulation, ce qui conduit à un mouvement.</p> <p>Des pratiques inadaptées ou dangereuses (exercice trop intense, dopage...) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents.</p>	<p>chapitre 4</p> <p>Pratiquer une activité physique en préservant sa santé (pages 232-244)</p> <p>Les activités pratiques</p> <p>Act. 1 Un exemple d'articulation fragile : le genou Act. 2 Muscles et tendons mobilisent les articulations Act. 3 Des comportements à maîtriser pour préserver sa santé</p>

L'effort physique nécessite de l'énergie

Activités pratiques

1

La dépense énergétique associée à l'effort (p. 184-185)

Connaissances	Capacités et attitudes
Au cours d'un exercice long et/ou peu intense, l'énergie est fournie par la respiration, qui utilise le dioxygène et les nutriments.	<ul style="list-style-type: none"> - Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental pour mettre en évidence la dépense énergétique à l'effort. - Exploiter des données quantitatives (à l'aide d'un tableur).

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page a pour but de définir la dépense énergétique d'un individu et les paramètres dont elle dépend. Une estimation peut être faite avec un tableur à partir de définitions simples de physique. Ceci facilitera la compréhension des notions abordées ensuite qui s'appuient souvent sur ces données.

Les **documents 1 et 2** fournissent différentes informations qui doivent permettre de mettre en évidence les dépenses énergétiques générales, celles liées à l'effort, et finalement certains facteurs intervenant dans ces dépenses.

Le **document 3** indique les réserves énergétiques potentielles présentes dans le corps sous formes de diverses molécules oxydables mais qui ne sont pas forcément mises en jeu lors d'efforts physiques courants et peu soutenus. Elles doivent être mises en perspective par comparaison avec les dépenses occasionnées par un effort physique.

Le **document 4** indique comment des efforts simples et contrôlés permettent de définir les notions de travail et de puissance.

Travail et puissance peuvent être prédits grâce à un modèle calculatoire simplifié construit sur tableur. L'exemple de flexions sur les jambes est ici traité. Le même genre de réflexion peut être mené avec la montée répétée d'une marche, la levée répétée d'haltères, etc.

2. Les pistes d'exploitation

1. Les caractéristiques physiologiques de l'individu (taille, masse...), la température du lieu, le degré d'activité, le sexe et l'âge sont autant de facteurs intervenant dans la dépense énergétique globale.
2. Un calcul simple utilisant la dépense journalière du document 1 conduit à estimer, à 39 jours de dépenses, les réserves théoriques du corps.
3. Effectuer les calculs nécessaires. Doubler le rythme des flexions revient à la fois à doubler le travail réalisé et la puissance de l'effort.
4. L'utilisation du tableur prépare l'élève à l'ECE et au B2i lycée.

La couverture des besoins énergétiques pendant l'effort (p. 186-187)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - L'effort physique augmente la consommation de dioxygène : plus l'effort est intense, plus la consommation de dioxygène augmente ; - La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. 	<ul style="list-style-type: none"> - Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (ExAO, spirométrie, brassard) pour mettre en évidence un ou plusieurs aspects du métabolisme énergétique à l'effort (consommation de dioxygène, production de chaleur). - Exploiter des données quantitatives (éventuellement à l'aide d'un tableur) concernant les modifications de la consommation de dioxygène et/ou de nutriments à l'effort.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page se prête bien à un travail sur l'élaboration de protocoles d'ExAO et à l'exploitation de données avec un tableur. Ainsi, les observations dans la classe seront complétées, critiquées et enrichies ensuite avec les estimations calculées.

Il est nécessaire d'avoir au préalable vérifié les acquis de cinquième en collège (cf. page 180) pour une meilleure exploitation des documents.

Les **documents 1 et 2** mettent en œuvre les capacités expérimentales des élèves. En effet, l'utilisation privilégiée de l'ExAO semble particulièrement appropriée pour tester l'augmentation de consommation d' O_2 lors d'un effort, ainsi que l'échauffement du muscle qui travaille (jusqu'à 3 °C pour un effort important), voire l'échauffement général du corps (jusqu'à 1 °C).

Le **document 3** permet de compléter le travail précédent d'un point de vue théorique par l'observation d'une consommation de glucose lors du travail musculaire et par une équation bilan des mécanismes respiratoires cellulaires. Il devient alors possible d'effectuer des corrélations entre quantité de matière organique consommée, quantité d' O_2 consommé et de CO_2 produit, quantité d'énergie produite.

Le **document 4** présente des corrélations qui peuvent être modélisées sous forme d'un tableau de calculs, réalisable avec un tableur.

2. Les pistes d'exploitation

1. Les tests ExAO mettent en évidence une augmentation de la consommation d' O_2 et l'échauffement des muscles au travail lors d'un effort.
2. La consommation d' O_2 et l'augmentation de température du muscle s'accompagnent d'une augmentation du prélèvement de glucose dans le sang qui circule dans les muscles (le sang s'appauvrit en glucose au passage dans un muscle au travail). Les lipides sont des nutriments beaucoup plus énergétiques que les glucides et les protides.
3. L'oxydation respiratoire de ces nutriments produit de l'énergie qui ne se traduit pas entièrement par un travail correspondant. La plus grande partie de l'énergie se dissipe sous forme de chaleur. Le rendement réel est ainsi compris entre 20 et 25 % seulement.
4. Le schéma (Retrouver les acquis du collège, p. 180) peut servir de base mais il est aussi possible d'arriver à un degré d'abstraction supplémentaire par un apprentissage de la schématisation.

Des limites à la performance (p. 188-189)

Connaissances	Capacités et attitudes
L'effort physique augmente la consommation de dioxygène : – plus l'effort est intense, plus la consommation de dioxygène augmente ; – il y a une limite à la consommation de dioxygène.	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (ExAO, spirométrie) pour mettre en évidence un ou plusieurs aspects du métabolisme énergétique à l'effort (consommation de dioxygène).

1. Les intentions pédagogiques

Le **document 1** présente la détermination de la $\dot{V}O_2$ max en milieu médical. L'analyse du cas proposé doit conduire à la notion de limite indépassable de l'effort à un instant t . Cette limite est en réalité celle du système cardio-respiratoire.

Le **document 2** indique comment on peut estimer la $\dot{V}O_2$ max au lycée sans pour cela demander à l'élève de fournir un effort maximal (ce qui est interdit dans le cadre de la classe). Des mesures par ExAO en conditions raisonnables (efforts modérés) et des extrapolations de mesures permettent de prédire approximativement la $\dot{V}O_2$ max.

2. Les pistes d'exploitation

1. La $\dot{V}O_2$ max renseigne sur la puissance maximale des efforts réalisables par un individu lors du test. Elle renseigne donc sur ses performances physiques à un instant donné.

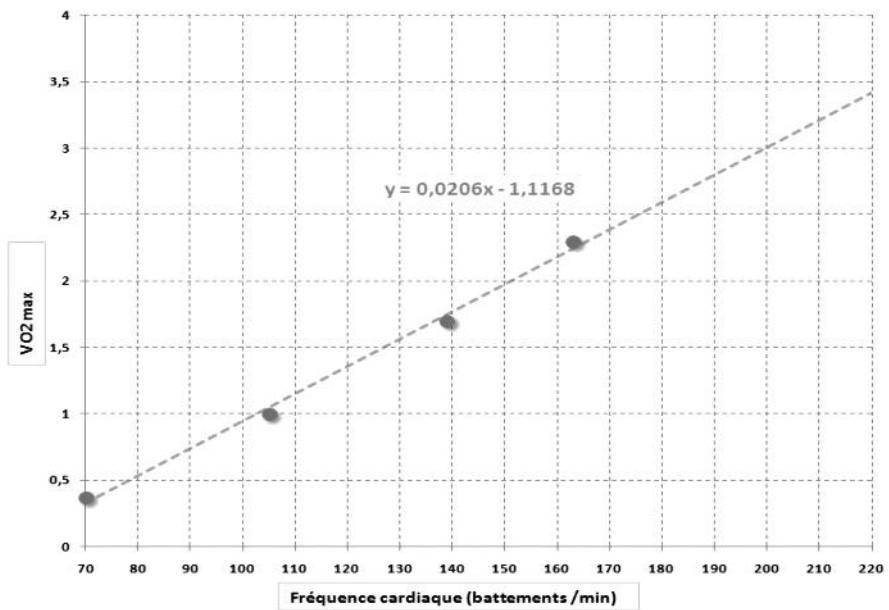
2. Sur le graphique à analyser, la puissance maximale est comprise entre 300 et 350 W et la $\dot{V}O_2$ max est voisine de 4 L par min.

(Attention à l'erreur laissée sur le premier tirage du livre : décaler la courbe bleue d'un cran sur la gauche de façon à faire coïncider les chutes de la puissance et de la consommation d' O_2 .)

3. Les mesures de fin de période se rapprochent plus de la fréquence cardiaque maximale pour l'effort demandé et correspondent à la consommation d' O_2 pour l'effort considéré. Attention la consommation d' O_2 affiché est parfois la consommation cumulée.

4. Une fois le graphique demandé construit, on peut extrapoler les résultats par l'intermédiaire d'une courbe de tendance :

- avec fonction affichée pour estimer $\dot{V}O_2$ max par le calcul (prendre FC max = 220 – âge) ;
- sans fonction affichée pour une estimation graphique.



Ici, la $\dot{V}O_2$ max pour cet élève de 15 ans peut être estimée à environ 3,1 L/min.

Des moyens pour éviter le surpoids (p. 190-191)

Connaissances	Capacités et attitudes
La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. L'exercice physique est un des facteurs qui aident à lutter contre l'obésité.	Exploiter des données quantitatives concernant les modifications de nutriments à l'effort.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page participe plus particulièrement à l'éducation à la santé. Le sujet de la perte de poids est une préoccupation de nombreux adolescents. Elle vise à démontrer des idées préconçues sur la perte de poids et montre que la pratique d'une activité ne se fait pas dans n'importe quelles conditions. Ceci sera complété dans le chapitre 4 de cette partie.

Les **documents 1 et 2** montrent que les nutriments utilisés par les muscles dépendent de la durée de l'effort. Il est possible de définir quand et dans quel type d'effort les muscles consomment plutôt des sucres ou plutôt des graisses. L'utilisation du QR est un outil intéressant pour déterminer le type de nutriments utilisé et permet de réinvestir ce qui a été établi p. 187 sur la respiration cellulaire.

Les mesures présentées dans les **documents 3 et 4** confirment les conditions d'utilisation des lipides : pour perdre du poids il ne faut pas être au maximum d'intensité contrairement à certaines idées reçues. Dans le cas d'une personne en surpoids, on peut ainsi déterminer la nature de l'effort lui permettant de diminuer ses réserves adipeuses, et donc de maigrir.

Il est possible pour aller plus loin de faire un lien avec l'activité 3 p. 189 et/ou avec l'EPS.

2. Les pistes d'exploitation

1. Dans un effort de type marathon, après quelques secondes nécessaires à la mise en route des mécanismes respiratoires, ces derniers utilisent dans un premier temps (un peu moins de 2 minutes) majoritairement les glucides. Puis cette utilisation baisse au profit de celle des lipides (voire des protéines dans certains cas exceptionnels).

2. Chez le sujet couché, le QR est voisin de 0,83 : le sujet utilise à la fois des glucides et des lipides.

Lors d'un travail physique d'intensité moyenne, le QR est voisin de 0,96 : le sujet utilise de plus en plus de glucides.

Lors d'un travail physique de forte intensité, le QR est voisin de 0,99 : le sujet n'utilise quasiment que des glucides.

3. La LIPOX max correspond dans l'exemple choisi à peu près à 0,4 g/min et à un effort de puissance égale à 50-60 % de la puissance maximale développée. Par conséquent, cette puissance modérée est la plus favorable à la perte de poids.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 257.

6 | L'énergie apportée par deux rations

1. Chercher les renseignements demandés.
2. 90 g de brioche : $G = 46,17 \text{ g}$, $P = 7,38 \text{ g}$, $L = 18,9 \text{ g}$.
42 g de barre chocolatée : $G = 29,19 \text{ g}$, $P = 1,47 \text{ g}$, $L = 7,6 \text{ g}$.
3. Apport énergétique : 928 kJ pour la brioche, 810 kJ pour la barre chocolatée.
4. Nombre de flexions possibles : 2 429 pour le premier, 2 417 pour le deuxième, en théorie. Mais une partie importante de l'énergie se dissipant sous forme de chaleur, ces valeurs peuvent être corrigées à moins de 608 et 605 flexions en prenant un rendement très favorable de 25 %.

7 | Courir vite... ou longtemps ?

1. À $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$: 2430 kJ et à $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$: 2408 kJ.
2. C'est la vitesse de course qui est le facteur le plus déterminant pour la dépense énergétique.

8 | L'obésité en France

1. Sur le plan théorique, l'indice de masse corporelle est proportionnel à la masse de l'individu, qui elle-même englobe notamment la masse grasse. On peut donc s'attendre à une certaine proportionnalité entre IMC et masse grasse.

Sur le graphique, le nuage est constitué de points qui forment un alignement approximatif. Dans la pratique, on peut donc considérer que l'IMC est *grossost modo* proportionnel à la masse grasse.

2. Entre 1997 et 2009, l'obésité a progressé dans toutes les régions de France.
3. Se concentrer sur les différentes conséquences de la sédentarité, de l'inactivité physique (penser aux loisirs modernes), et sur les modes alimentaires.

Les réponses de l'organisme à l'effort physique

Activités pratiques

1

Effort physique et variations du débit ventilatoire (p. 200-201)

Connaissances	Capacités et attitudes
Au cours de l'effort un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque) ; fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) ; pression artérielle.	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (en particulier assisté par ordinateur) pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort.

1. Les intentions pédagogiques

Il s'agit de mettre en parallèle des résultats obtenus lors d'une activité expérimentale en classe avec ceux obtenus dans un centre de médecine du sport.

Le dispositif d'ExAO utilisé dans le **document 1** « Atelier Scientifique - Jeulin » permet de mesurer le débit ventilatoire dans différentes conditions, en particulier de comparer ce débit au repos et à l'effort.

Le **document 2** est une information anatomique simplifiée sur la mécanique ventilatoire, notion qui n'existe plus dans les programmes de collège.

Le **document 3** correspond à des mesures réalisées dans un centre de médecine du sport : il permet de quantifier de manière plus précise la relation entre la puissance de l'effort et le débit ventilatoire.

2. Les pistes de travail

1. Au repos, le volume d'air courant peut être estimé à environ 0,5 litre (en traçant une droite horizontale passant par la valeur moyenne du haut du tracé, c'est-à-dire la fin d'inspiration, puis une seconde passant par la valeur moyenne du bas du tracé, c'est-à-dire la fin d'expiration). Quant à la fréquence, on observe environ 12 mouvements respiratoires par minute.

Le débit ventilatoire au repos est donc de $0,5 \text{ L} \times 12 = 6 \text{ L par minute}$.

Selon le même principe de calcul on peut estimer :

- le débit ventilatoire lors d'un effort modéré : $0,7 \text{ L} \times 15 = 10,5 \text{ L par minute}$;
- le débit ventilatoire lors d'un effort intense : $1,25 \text{ L} \times 16 = 20 \text{ L par minute}$;

2. Le débit ventilatoire augmente en fonction de la puissance de l'effort.

Le graphe montre que cette augmentation est d'abord modérée au début de l'effort mais qu'ensuite, lorsque la puissance de l'effort dépasse 125 watts, l'augmentation du débit est beaucoup plus rapide et elle atteint rapidement une valeur maximale.

3. Ressources complémentaires

- Un site simple, complet et intéressant concernant la physiologie du sportif:
<http://physiomax.com.free.fr/index.htm>
- Des exemples de protocoles expérimentaux et de résultats d'élèves lors d'activités EXAO portant sur le thème de l'adaptation à l'effort sur différents sites académiques.

Activités pratiques

2

Effort physique et variations du débit cardiaque (p. 202-203)

Connaissances	Capacités et attitudes
Au cours de l'effort un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque) ; fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) ; pression artérielle.	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (en particulier assisté par ordinateur) pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort.

1. Les intentions pédagogiques

Comme dans l'activité 1, il s'agit d'abord (page 202) de mettre en parallèle des résultats obtenus lors d'une activité expérimentale en classe avec ceux obtenus dans un centre de médecine du sport.

Le dispositif d'ExAO utilisé dans le **document 1** (matériel Sordalab) permet de mesurer la fréquence cardiaque au repos, pendant un effort et après l'effort. On peut ainsi mettre aisément en évidence l'accélération de cette fréquence due à l'effort puis, ensuite, son retour à la normale au cours de la phase de récupération.

Le **document 2** correspond à des mesures réalisées dans un centre de médecine du sport : il permet de quantifier de manière plus précise la relation entre la puissance de l'effort et le débit ventilatoire. Il montre en particulier que l'augmentation de la fréquence cardiaque présente une limite : la fréquence cardiaque maximale qui dépend entre autres de l'âge du sujet.

Le **document 3** montre que, pour mesurer le débit cardiaque, il faut connaître non seulement la fréquence cardiaque mais aussi le volume de sang éjecté par l'un ou l'autre des ventricules (le VES ou Volume d'Ejection Systolique). La mesure du VES ne peut se faire qu'en milieu médical à l'aide d'appareils spécialisés : le document 3 explique le principe de cette mesure.

Le **document 4** enfin indique les variations de la fréquence cardiaque et du VES dans trois situations différentes : debout au repos, jogging, course.

À noter que les variations de la pression artérielle à l'effort sont abordées dans le chapitre 3.

2. Les pistes de travail

1. La fréquence cardiaque s'adapte à l'effort physique par une accélération, mais cette accélération présente une limite, quelle que soit l'intensité de l'effort : on la qualifie de fréquence cardiaque maximale.

2. Comme cela a été défini dans le document 3, pour calculer le débit cardiaque il faut multiplier la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique. On peut donc calculer ce débit dans les trois situations du document 4 :

- position debout : $65 \text{ batt/min} \times 65 \text{ mL} = 4\ 225 \text{ mL/min}$ (soit 4,225 L/min) ;
- jogging : $120 \text{ batt/min} \times 95 \text{ mL} = 11\ 400 \text{ mL/min}$ (soit 11,4 L/min) ;
- course : $152 \text{ batt/min} \times 125 \text{ mL} = 19\ 000 \text{ mL/min}$ (soit 19 L/min).

4. Le débit cardiaque augmente en fonction de l'effort physique : cette augmentation est due à la fois à une augmentation de la fréquence cardiaque et une augmentation du VES.

Cette augmentation du débit peut être mise en relation avec les besoins accrus du muscle en nutriments et en dioxygène au cours d'un effort physique.

3. Ressources complémentaires

- Un site simple, complet et intéressant concernant la physiologie du sportif :
<http://physiomax.com.free.fr/index.htm>
- Des exemples de protocoles expérimentaux et de résultats d'élèves lors d'activités EXAO portant sur le thème de l'adaptation à l'effort sur différents sites académiques.

Le cœur et la propulsion du sang dans les vaisseaux (p. 204-205)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène et en nutriments. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié.	Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et ou manipuler (dissections et/ou logiciels de simulation et/ou recherche documentaire) pour comprendre l'organisation et le fonctionnement des systèmes cardiovasculaire et ventilatoire.

1. Les intentions pédagogiques

La double circulation sanguine ainsi que la circulation à sens unique du sang dans les vaisseaux sont connues depuis le collège (voir acquis page 181). Mais, au collège, le rôle du cœur dans cette circulation à sens unique n'a pas été abordé (en classe de Cinquième en particulier, l'existence de valvules cardiaques, n'est pas abordé).

Le « plus » de la classe de Seconde est justement de comprendre le rôle de ces valvules.

Le **document 1** rappelle des expériences qui ont déjà pu être réalisées en classe de Cinquième et qui montrent que dans le cœur, le sang peut circuler des veines vers les artères mais pas en sens inverse.

Le **document 2** invite l'élève à pratiquer une ouverture du cœur pour y rechercher les structures anatomiques responsables de cette circulation à sens unique : il découvre ainsi d'une part les valvules auriculo-ventriculaires droite et gauche, d'autre part les valvules artérielles.

Le **document 3** présente une des deux valvules artérielles : la valvule aortique. L'objectif est de comprendre que les valvules sont des sortes de « clapets anti-retour » qui ne permettent le passage du liquide (ici, le sang) que dans un seul sens.

Le **document 4** montre de façon schématique le rôle des différences de pression dans le fonctionnement des valvules cardiaques. Remarquons que les noms techniques précis des valvules auriculo-ventriculaires n'ont pas été donnés. Toutefois, s'il le désire (ou pour répondre à une éventuelle question d'élève), le professeur pourra préciser que la valvule mitrale est située à gauche, la valvule tricuspidale à droite. De même pour le terme de valvule sigmoïde.

La courbe des variations de pression intracardiaque au cours d'une révolution n'est pas au programme de Seconde ; cependant, de manière intuitive, l'élève peut comprendre comment ces petites valves s'ouvrent et se ferment selon les différences de pressions qui sont appliquées sur leurs deux faces.

2. Les pistes de travail

1. Les expériences du document 1 montrent qu'il n'y a jamais de mélange de sang entre le « cœur droit » et le « cœur gauche » : le support anatomique en est une cloison étanche séparant la moitié droite et la moitié gauche du cœur. Le cœur peut donc être assimilé à une double pompe, les deux pompes accolées fonctionnant de manière synchrone.

La circulation du sang à sens unique dans le cœur, et par voie de conséquence dans les vaisseaux, est imposée par les valvules cardiaques :

- au cours de la systole auriculaire, le sang passe des oreillettes vers les ventricules : les valvules auriculo-ventriculaires sont ouvertes et les valvules artérielles sont fermées ;
- au cours de la systole ventriculaire, le sang passe des ventricules vers les artères : les valvules auriculo-ventriculaires se ferment puis les valvules artérielles s'ouvrent ;
- au cours de la diastole, les oreillettes se remplissent à partir du sang arrivant par les veines caves ou les veines pulmonaires puis les valvules auriculo-ventriculaires s'ouvrent à nouveau.

2. Les légendes à placer sur le dessin sont :

- 1 : veines caves ;
- 2 : aorte ;
- 3 : artère pulmonaire ;
- 4 : veines pulmonaires ;
- 5 : valvules artérielles ;
- 6 : valvules auriculo-ventriculaires.

3. Ressources complémentaires

- Maquettes anatomiques : Jeulin, Pierron.
- Manuel numérique enrichi Bordas : vidéo des expériences du document 1.
- Sur le site Expert « Vie » de Jussieu, les dissections des coeurs de mouton et de poulet :
<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/coeurmouton/mouton.html>
<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/coeurpoulet/coeurpoulet.htm>

L'approvisionnement des muscles en dioxygène (p. 206-207)

Connaissances	Capacités et attitudes
Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène et en nutriments. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié.	Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et ou manipuler (dissections et/ou logiciels de simulation et/ou recherche documentaire) pour comprendre l'organisation et le fonctionnement des systèmes cardiovasculaire et ventilatoire.

1. Les intentions pédagogiques

Pendant l'effort, la consommation de dioxygène par les muscles est multipliée par dix ou quinze alors que dans le même temps le débit cardiaque n'est multiplié que par 4 ou 5. La modification de ce seul paramètre ne peut donc pas expliquer comment les nouveaux besoins des muscles sont couverts. Cette double page se propose de présenter les mécanismes circulatoires cardiaques et périphériques permettant la couverture de tels besoins.

Les **documents 1 à 3** mettent en évidence les caractéristiques de la recharge du sang en dioxygène au niveau des poumons.

Le schéma du **document 1** représente la double circulation sanguine connue depuis le collège. Dans le bas du schéma, les cellules musculaires ont été «isolées» des autres organes car, au cours d'un effort physique, ce sont les principales consommatrices d'énergie.

Ce qu'il est important de faire comprendre sur un tel schéma, c'est la disposition «en série» de la circulation pulmonaire et de la circulation générale, disposition qui permet la recharge de la totalité du flux sanguin au niveau des poumons.

Le **document 2** rappelle la très grande surface de contact entre le sang et l'air au niveau des alvéoles pulmonaires.

Le **document 3** montre :

- la constance de la teneur en dioxygène du sang artériel (ainsi nommé même s'il sort des poumons par des veines !);
- l'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone du sang veineux au cours d'un effort physique ;
- la capacité du muscle à extraire du sang des quantités de plus en plus importantes de dioxygène au cours d'efforts d'intensités croissantes.

L'essentiel est de comprendre que le sang artériel reste saturé en dioxygène quelle que soit l'intensité de l'effort physique et donc quelle que soit la teneur en dioxygène du sang veineux : ce document montre en quelques sorte que les poumons constituent une « machine » très efficace pour recharger le sang en dioxygène.

Les **documents 4 et 5** montrent les adaptions au niveau cardiaque et au niveau de la circulation périphérique dans le muscle qui permettent de satisfaire les besoins accrus du muscle (en nutriments et en dioxygène) au cours d'un effort physique.

Le **document 4** montre les variations du débit cardiaque et du débit au niveau des principaux organes en fonction de l'effort physique. On note clairement que le débit

cardiaque est multiplié par 5, mais, pour le débit au niveau des différents organes, une analyse plus fine s'impose :

- les muscles voient leur débit multiplié par près de 20 (alors que le débit cardiaque n'a été multiplié que par 5); cela signifie évidemment qu'une plus grande part du débit total leur est allouée, ce que traduit la valeur en pourcentage (qui est multipliée par 4);
- la peau est également privilégiée (débit \times 10; pourcentage \times 2): elle joue un rôle important dans l'évacuation de la chaleur libérée par l'activité musculaire;
- le cerveau voit son irrigation très légèrement accrue si l'on raisonne en volume de sang perfusant le cerveau par unité de temps mais nettement diminué si on raisonne en pourcentage du débit global (de 14 % à 3,6 %);
- les viscères et les autres organes voient également leur perfusion diminuer si on raisonne en pourcentage du débit global (de 60 % à 10 %).

Le **document 5** permet de montrer comment une vasoconstriction variable permet d'importantes modifications de l'irrigation sanguine au sein d'un muscle selon qu'il est au repos ou en activité.

2. Pistes d'exploitation

1. En prenant en compte d'une part le fait que l'appareil circulatoire est un système clos et que les liquides sont incompressibles, il est évident que la disposition «en série» de la circulation générale et de la circulation pulmonaire permet au niveau des poumons une recharge en dioxygène de la totalité du flux sanguin : le débit sanguin dans les poumons est égal au débit sanguin dans l'ensemble des autres organes.

Le graphique du document 3 montre que, quelle que soit l'intensité de l'effort, le sang artériel demeure saturé en dioxygène. Le maintien de cette constance est assuré par une augmentation très importante du débit ventilatoire au cours d'un effort intense.

2. L'irrigation «en parallèle» des différents organes permet à l'organisme d'en privilégier certains au détriment d'autres au cours d'un effort physique.

Ainsi par exemple, le sang approvisionnant le muscle en dioxygène et en nutriments, l'augmentation de la perfusion sanguine lorsque le muscle est en activité permet de satisfaire les besoins accrus de ce dernier. On pourra par exemple noter que la quantité de dioxygène et de nutriments traversant le muscle par unité de temps est multipliée par 10 si le débit de la perfusion sanguine est 10 fois plus important.

3. La circulation sanguine permet de satisfaire les besoins accrus du muscle en dioxygène au cours d'un effort physique grâce à plusieurs mécanismes complémentaires :

- la disposition «en série» de la circulation générale et de la circulation pulmonaire permet au niveau des poumons une recharge en dioxygène de la totalité du flux sanguin;
- l'augmentation du débit ventilatoire, en renouvelant l'air dans les alvéoles pulmonaires, permet de maintenir le sang sortant des poumons saturé en dioxygène (c'est ce sang qui sera ensuite distribué à tous les organes après avoir passé dans le ventricule gauche);
- l'irrigation «en parallèle» des différents organes permet à l'organisme d'en privilégier certains (muscles en activité) au détriment d'autres (viscères, cerveau) au cours d'un effort physique.

3. Ressources complémentaires

- Maquettes de circulation sanguine : Jeulin, Pierron.
- Manuel numérique enrichi Bordas : animation sur les modifications de la circulation sanguine au cours de l'effort.

Fonction cardio-respiratoire et pratique d'un sport (p. 208-209)

Connaissances	Capacités et attitudes
Un bon état cardiovasculaire et ventilatoire est indispensable à la pratique d'un exercice physique.	Exercer sa responsabilité en matière de santé.

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page s'inscrit très clairement dans le cadre de l'éducation à la santé sans naturellement prétendre à l'exhaustivité.

Les **documents 1 à 3** ont été choisis pour fournir des réponses simples à des questions que peuvent se poser les élèves. Bien sûr, d'autres questions pourront se poser dans le cadre de la classe et le sujet se prêtera à des recherches complémentaires sur Internet, en particulier en utilisant les liens sécurisés sur www.bordas-svtlycee.fr.

Le **document 4** est un retour sur la notion de $\dot{V}O_2$ max : il montre l'influence de l'entraînement sur la $\dot{V}O_2$ max chez le jeune sportif.

Le **document 5** permet de montrer que l'entraînement n'est pas le seul paramètre pouvant influer sur la $\dot{V}O_2$ max : il existe des prédispositions génétiques qui peuvent expliquer des $\dot{V}O_2$ max plus élevées chez certains sportifs par rapport à d'autres soumis au même entraînement.

2. Pistes d'exploitation

1. Simple invitation à faire des recherches complémentaires pour répondre à des questions qui peuvent se poser dans le cadre de la classe.
2. Dans les activités précédentes, nous avons constaté une augmentation du débit ventilatoire au cours d'un effort, mais, d'autre part nous avons vu que le sang sortant des poumons était toujours saturé en dioxygène quel que soit l'intensité de l'effort. Le débit ventilatoire ne constitue donc pas un facteur limitant de l'approvisionnement des muscles en dioxygène. Pour améliorer cet approvisionnement, c'est donc le débit cardiaque qui doit être augmenté (notamment par une augmentation du VES) au cours de l'entraînement.
3. Les facteurs influençant la $\dot{V}O_2$ max mis en évidence dans le document 5 sont évidemment des facteurs génétiques puisque deux sportifs soumis au même entraînement peuvent avoir des $\dot{V}O_2$ max très différentes.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 257.

6 La circulation du sang dans le cœur

Cet exercice a pour objectif de préparer les élèves à des évaluations sous forme de QCM, type d'évaluation de plus en plus pratiqué à tous les niveaux. À noter que dans ces QCM, il peut y avoir plusieurs bonnes réponses.

Les bonnes réponses sont les réponses b, c, e et g.

7 Effets de l'entraînement sur le fonctionnement cardio-respiratoire

Le but de cet exercice est de raisonner pour réinvestir les notions définies dans le chapitre.

1. Les modifications observées chez le sujet entraîné par rapport au sujet non entraîné sont :

- pour un effort intense, le débit cardiaque du sujet entraîné est plus élevé que chez le sujet non entraîné (25 L/min au lieu de 20) ;
- la fréquence cardiaque au repos du sujet entraîné est plus basse que celle du sujet non entraîné ; à l'effort, elle est pratiquement la même, mais elle permet un effort plus intense ;
- le VES du sujet entraîné est toujours plus élevé que celui du sujet non entraîné aussi bien au repos que lors d'un effort intense.

2. Il est clair que l'ensemble des modifications observées ont pour but de satisfaire les besoins accrus du muscle en dioxygène au cours de l'effort physique.

Au repos, le débit cardiaque du sujet entraîné est le même que celui du sujet non entraîné malgré une fréquence cardiaque plus faible chez ce dernier : ceci s'explique par une augmentation du VES due à l'entraînement.

De la même manière, au cours d'un effort intense, le débit cardiaque plus élevé chez sujet entraîné par rapport au sujet non entraîné s'explique par l'augmentation du VES due à l'entraînement puisque la fréquence cardiaque maximale est pratiquement la même. On en conclut donc que l'entraînement améliore en priorité le VES.

8 Utiliser ses capacités expérimentales : dissection du cœur de mouton

Le but de cet exercice est de visualiser les différentes valvules responsables de la circulation à sens unique du sang dans le cœur.

La régulation nerveuse de la pression artérielle

Activités pratiques

1

Pression artérielle et fréquence cardiaque (pages 218-219)

Connaissances	Capacités et attitudes
La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres (notamment par la fréquence cardiaque).	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (en particulier, assisté par ordinateur) pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort.

1. Les intentions pédagogiques

La pression artérielle est la pression exercée par le sang contre la paroi des artères. Pour cette première double page, on choisit une approche historique puis un geste médical connu des élèves afin de comprendre le principe de la mesure de la pression artérielle et le lien avec la fréquence cardiaque. Sont exclus les autres paramètres qui influencent la pression artérielle (débit cardiaque, résistance périphérique, volume sanguin...).

Le **document 1** est la description d'une des premières mesures de la pression sanguine régnant dans les artères réalisée en 1733 par Hales. Cette mesure permet de comprendre que le sang circule sous pression dans les artères. De plus, on montre que le niveau du sang dans le tube oscille entre deux valeurs correspondant à une pression maximale et à une pression minimale. Ces deux valeurs dépendent directement du fonctionnement cardiaque.

Le **document 2** permet de comprendre la signification des valeurs de tension artérielle mesurées chez le médecin (exprimées le plus souvent en cm de mercure) : la première valeur indique la pression systolique (premier bruit audible dans le stéthoscope), la seconde valeur indiquant la pression diastolique (dernier bruit audible au stéthoscope).

Le **document 3** illustre l'utilisation du dispositif d'ExAO par les élèves. Ce dispositif leur permet de manipuler du matériel médical (stéthoscope, brassard) et de mesurer leur pression artérielle et leur fréquence cardiaque au repos et à l'effort. Le principe de la mesure est ainsi bien défini. Un lien est établi entre la pression artérielle et la fréquence cardiaque.

2. Les pistes d'exploitation

- À la suite de la contraction ventriculaire (systole ventriculaire), le sang est envoyé dans le tube à son niveau le plus haut : pression maximale ou systolique. Le niveau le plus bas du sang dans le tube correspond à la pression minimale ou diastolique, c'est-à-dire à la pression du sang dans les artères au cours du relâchement cardiaque (diastole).

2. La mesure de la tension artérielle se réalise à l'aide d'un tensiomètre et d'un stéthoscope (cf. histoire des sciences, p. 227). Une fois le brassard gonflé, la circulation sanguine dans l'artère du bras est interrompue. Le brassard est ensuite dégonflé, ce qui rétablit progressivement la circulation sanguine. Le premier bruit audible au stéthoscope correspond à la pression maximale (première valeur) et le dernier bruit audible correspond à la pression minimale (seconde valeur).

3. Doc. 3.2: au repos, les valeurs mesurées de la pression artérielle sont d'environ 120-80 (en mm de mercure). Au cours de l'effort, les valeurs mesurées de la pression artérielle sont d'environ 170-80. La pression maximale ou systolique augmente alors que la pression minimale ou diastolique reste la même.

Doc. 3.3: au repos, on enregistre 12 battements en 10 secondes (soit 72 battements par minute). Au cours de l'effort, on enregistre 15 battements en 10 secondes (soit 90 battements par minute).

Pression artérielle et fréquence cardiaque augmentent conjointement au cours d'un effort physique.

4. Contraction ventriculaire (systole) et relâchement cardiaque (diastole) établissent les valeurs maximale et minimale de la pression artérielle. La fréquence cardiaque, définie comme le nombre de battements cardiaques par unité de temps, influence donc la pression artérielle par l'intermédiaire du débit cardiaque.

3. Ressources complémentaires

- Logiciel « Pression artérielle » (Pierron)
- Logiciel « Explorer système cardiovasculaire » (Jeulin)
- Cédérom « la pression artérielle », édité par le CNED. Un exemple d'utilisation dans le cadre de ce programme sur le site de l'académie de Créteil :
http://www.ac-creteil.fr/svt/cdromlog/PA_cned.htm
- Site bordas :
www.bordas-svtlycee.fr
- Quelques sites internet :
Sur le site de l'académie de Nancy, la dissection de l'embryon de caille avec mise en évidence de l'automatisme cardiaque :
<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/svt/program/fichacti/fiches2.htm>
Sur le site de l'académie de Toulouse, présentation de l'automatisme cardiaque de l'embryon de poulet :
<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/lycee/seconde/coeur/coeur.htm>

Une modulation de la fréquence cardiaque (pages 220-221)

Connaissances	Capacités et attitudes
<p>La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres. Par exemple, il existe une boucle réflexe de contrôle de la fréquence cardiaque (dont la pression artérielle dépend par l'intermédiaire du débit) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ; - un centre bulbaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (cœur) ; - les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques. 	<p>Recenser, extraire et exploiter des documents historiques relatifs à des travaux expérimentaux pour construire et/ou argumenter la boucle de régulation nerveuse évoquée.</p>

1. Les intentions pédagogiques

Le **document 1** est une preuve de l'automatisme cardiaque. Le cœur greffé n'établissant aucune connexion nerveuse avec le receveur, cela démontre que les battements automatiques du cœur sont indépendants du système nerveux.

Le fait que le cœur greffé batte plus vite chez le receveur qu'il ne battait auparavant chez le donneur permet de s'interroger sur des « influences externes » s'exerçant sur l'automatisme de cet organe.

Le **document 2** a pour but :

- de préciser que le système nerveux autonome est composé de deux ensembles antagonistes, le système sympathique et le système parasympathique ;
- d'indiquer que le cœur reçoit des fibres nerveuses appartenant à ces deux systèmes ;

Les **documents 3** et **4** ont pour but de faire découvrir à l'élève le rôle de cette innervation dans l'adaptation du rythme cardiaque (et donc de la pression artérielle) à l'effort physique. Le **document 3** décrit des expériences de stimulation des fibres parasympathiques et sympathiques. On observe les conséquences des stimulations sur la fréquence cardiaque et la pression artérielle. Le **document 4** présente les variations d'intensité des messages nerveux dans les fibres sympathiques et parasympathiques cardiaques au cours d'un effort physique. L'intensité des messages n'est pas exprimée en variations de fréquence des potentiels d'action car, ni la notion de potentiel d'action, ni la notion de codage d'un message en fréquence de potentiels d'action ne sont au programme de Seconde.

2. Les pistes d'exploitation

1. Pour greffer un cœur, on est obligé de couper toutes les fibres nerveuses qui lui parviennent. Le cœur greffé n'établit aucune connexion nerveuse avec le receveur. En absence d'influence nerveuse, on constate que la fréquence cardiaque chez le receveur est plus élevée et qu'elle varie peu au cours de l'effort physique. Le système nerveux a donc une action permanente cardio-modératrice sur le rythme cardiaque.

2. Le cœur présente des relations anatomiques avec le bulbe rachidien par l'intermédiaire des fibres parasympathiques du nerf pneumogastrique (ou nerf X) et des fibres du nerf sympathique.

3. Doc. 3: pour répondre à cette question, l'élève doit comprendre que la stimulation électrique a pour but de renforcer l'action du nerf stimulé. Il peut alors conclure facilement :

- que les nerfs X ou nerfs pneumogastriques ont pour fonction de ralentir le cœur (ont dit qu'ils sont cardio-frénateurs ou cardio-modérateurs) ;
- que les nerfs sympathiques ont pour fonction d'accélérer le cœur (ont dit qu'ils sont cardio-accélérateurs).

Doc. 4: pendant l'effort physique, l'intensité des messages nerveux parasympathiques est diminuée alors que, dans le même temps, l'intensité des messages sympathiques est augmentée. Le cœur accélère donc puisqu'il est soumis :

- à une influence cardio-frénatrice moins importante ;
- à une influence cardio-accélératrice plus importante.

4. Cette consigne propose à l'élève d'effectuer un bilan à partir des données de l'ensemble des documents. Il s'agit d'une mise en relation des données anatomiques et fonctionnelles permettant de comprendre la modulation de la fréquence cardiaque par le système nerveux.

3. Ressources complémentaires

- Logiciel « Pression artérielle » (Pierron)
- Logiciel « Explorer système cardiovasculaire » (Jeulin)
- Cédérom « la pression artérielle », édité par le CNED. Un exemple d'utilisation dans le cadre de ce programme sur le site de l'académie de Créteil :
http://www.ac-creteil.fr/svt/cdromlog/PA_cned.htm
- Site bordas :
www.bordas-svtlycee.fr
- Quelques sites internet :
Sur le site de l'académie de Nancy, la dissection de l'embryon de caille avec mise en évidence de l'automatisme cardiaque :
<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/svt/program/fichacti/fiches2.htm>
Sur le site de l'académie de Toulouse, présentation de l'automatisme cardiaque de l'embryon de poulet :
<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/lycee/seconde/coeur/coeur.htm>

Un contrôle réflexe de la pression artérielle (pages 222-223)

Connaissances	Capacités et attitudes
<ul style="list-style-type: none"> - La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. - À l'effort, l'organisme s'écarte de cette situation standard. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construire et/ou argumenter la boucle de régulation nerveuse évoquée. - Élaborer un schéma fonctionnel pour représenter une boucle de régulation.

1. Les intentions pédagogiques

À la fin des deux activités précédentes, les élèves ont compris que la pression artérielle pouvait varier au cours d'un effort physique (en lien avec la fréquence cardiaque) mais qu'elle était toujours ramenée à une valeur de référence. Il s'agit donc d'une grandeur régulée. Cette double page permet aux élèves de comprendre le mécanisme réflexe intervenant dans cette régulation. Sont exclus tous les autres mécanismes intervenant sur la régulation de la pression artérielle ; on pourra signaler que l'on n'étudie que l'un des éléments d'un ensemble complexe qui sera complété dans une classe ultérieure.

Le **document 1** montre la présence, dans la paroi des artères, de récepteurs sensibles aux variations de pression : les barorécepteurs. Ils sont présents chez l'Homme au niveau de la crosse aortique et du sinus carotidien. Leur situation dans l'organisme permet de veiller en particulier au maintien d'une pression artérielle normale au niveau des vaisseaux parcourant le cerveau.

Le **document 2** décrit d'anciennes expériences réalisées chez un animal anesthésié. L'exploitation des résultats permet d'établir un lien entre l'activité des barorécepteurs des sinus carotidiens, l'activité du nerf de Hering, la fréquence cardiaque et la pression artérielle. Une partie de la boucle de régulation (récepteur, voie afférente, effектор) est ainsi mise en place.

Le **document 3** permet de compléter la boucle de régulation. L'activité des nerfs parasympathique et sympathique (cf. activité précédente) varie en fonction de l'activité des barorécepteurs. La voie efférente est mise en place.

Le **document 4** permet de compléter l'étude de la boucle réflexe de régulation avec le centre intégrateur (bulbe rachidien). Le bulbe rachidien est montré simplement comme un organe qui reçoit des informations issues des barorécepteurs et qui est capable d'envoyer des messages nerveux différents dans les nerfs parasympathique et sympathique, en fonction des informations reçues.

2. Les pistes d'exploitation

1. Le graphe montre que la fréquence des signaux électriques émis par les barorécepteurs varie en fonction de la pression artérielle moyenne. Ces barorécepteurs présentent une activité normale de repos pour une pression artérielle moyenne de 80 mmHg. Dans le cas d'une augmentation de cette pression artérielle l'activité des barorécepteurs augmente (l'activité diminue dans le cas inverse).

2. Pour répondre à cette question, les résultats de chaque expérience doivent être décrits. Les barorécepteurs, reliés au nerf de Hering, perçoivent les variations de pression artérielle au niveau des sinus carotidiens. L'activité du nerf de Hering est alors modifiée afin de corriger les variations de pression artérielle.

3. Dans le cas d'une augmentation de pression au niveau des barorécepteurs des sinus carotidiens, l'activité du nerf de Hering est augmentée ainsi que l'activité du nerf X (cardio-modérateur). L'activité du nerf sympathique (cardio-accelérateur) est diminuée. La conséquence de l'ensemble de ces modifications est une diminution de la fréquence cardiaque, d'où une diminution de la pression artérielle.

4. Le maintien d'une pression artérielle à une valeur de référence s'effectue de façon involontaire et rapide dès qu'une variation est perçue. Cette réaction réflexe fait intervenir différents éléments du système nerveux : des barorécepteurs, les nerfs de Hering et de Cyon (voie afférente), un centre intégrateur (bulbe rachidien), les nerfs X et sympathique (voie efférente) et un organe effecteur (le cœur). Ainsi, cette boucle réflexe contrôle la fréquence cardiaque et donc la pression artérielle.

3. Ressources complémentaires

- Logiciel «Pression artérielle» (Pierron)
- Logiciel «Explorer système cardiovasculaire» (Jeulin)
- Cédérom «la pression artérielle», édité par le CNED. Un exemple d'utilisation dans le cadre de ce programme sur le site de l'académie de Créteil :
http://www.ac-creteil.fr/svt/cdromlog/PA_cned.htm
- Site bordas :
www.bordas-svtlycee.fr
- Quelques sites internet :
Sur le site de l'académie de Nancy, la dissection de l'embryon de caille avec mise en évidence de l'automatisme cardiaque :
<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/svt/program/fichacti/fiches2.htm>
Sur le site de l'académie de Toulouse, présentation de l'automatisme cardiaque de l'embryon de poulet :
<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/lycee/seconde/coeur/coeur.htm>

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 257.

6 | Une étude expérimentale

Cet exercice peut être proposé en relation avec le doc. 2 page 222. Il permet d'exploiter les résultats d'une expérience présentés sous forme de graphe.

Les bonnes réponses sont: a ; c.

7 | Pression partielle et exercice physique

Cet exercice permet de mettre en relation l'ensemble des paramètres étudiés dans ce chapitre, en lien avec une activité physique.

1. Au cours de l'exercice, le débit sanguin du muscle squelettique est trois fois plus élevé. La fréquence cardiaque et le volume d'éjection augmentent de même que le débit cardiaque. La pression artérielle systolique augmente de 60 mmHg, la pression artérielle diastolique n'augmente pas.

2. L'augmentation de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection explique celle du débit cardiaque. Le débit cardiaque $DC = FC \times VES$.

À l'exercice : $130 \times 85 = 11\,050 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ soit $11 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.

L'augmentation du débit cardiaque permet, en partie, une augmentation du débit sanguin au niveau des muscles au cours de l'exercice physique (voir le chapitre précédent). La pression artérielle varie en fonction de différents paramètres dont la fréquence cardiaque. Au cours de l'exercice physique, la fréquence cardiaque augmente, d'où une élévation de la pression artérielle.

Seule la pression artérielle systolique est modifiée. En effet, la pression artérielle diastolique correspond à la pression du sang dans les artères lorsque le cœur est relâché (diastole).

8 | Influence de la position du corps sur la pression artérielle

1. Chez le sujet debout : PAS cerveau = $120 - 37,5 = 82,5 \text{ mmHg}$.
PAS pied = $120 + 90 = 210 \text{ mmHg}$

2. Chez la girafe : PAS cœur = $100 + 150 = 250 \text{ mmHg}$.

9 | Des paramètres agissant sur la pression artérielle

Les paramètres de la vie quotidienne qui semblent agir sur la pression artérielle sont en particulier le coucher et le lever, avec une diminution des pressions artérielles systolique et diastolique au moment du coucher et une augmentation au lever.

Les repas peuvent entraîner de légères modifications de même que l'activité au cours de la journée. Les pressions artérielles systolique et diastolique varient dans d'étroites valeurs au cours de la journée, elles sont toujours ramenées à des valeurs de référence. La pression artérielle est régulée.

10 | La double innervation cardiaque

1. Section du nerf X : augmentation du rythme cardiaque de 55 à 60 batt/min.
Section des nerfs sympathiques : diminution du rythme cardiaque de 5 à 20 batt/min.

2. Les nerfs X ont un rôle cadio-modérateur.

Les nerfs sympathiques ont un rôle cardio-accélérateur.

11 Des nerfs participant à la régulation de la pression artérielle

La stimulation du nerf de Cyon entraîne une diminution de la pression artérielle générale. On sait que le nerf de Cyon est relié aux barorécepteurs situés dans la paroi des artères de la crosse aortique. Dans le cas d'une hypertension, l'activité du nerf est augmentée (cas représenté ici par la stimulation du nerf). Ce nerf envoie des informations au bulbe rachidien qui va stimuler le nerf X et inhiber le nerf sympathique. La fréquence cardiaque est donc ralentie d'où une diminution de la pression artérielle générale.

Pratiquer une activité physique en préservant sa santé

Activités pratiques

1

Un exemple d'articulation fragile : le genou (p. 234-235)

Connaissances	Capacités et attitudes
Les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé. Les accidents musculo-articulaires s'expliquent par une détérioration du tissu musculaire, des tendons ou de la structure articulaire.	Recenser, extraire et interpréter des informations tirées de comptes rendus d'accidents musculo-articulaires (imageries médicales).

1. Les intentions pédagogiques

En lien avec les documents d'appel de la page 232, cette double page a pour objectif de mettre en relation l'anatomie et le rôle des différents éléments d'une articulation avec différents traumatismes articulaires. L'approche suggérée est de confronter une observation du réel, sous la forme d'une dissection, à des imageries médicales, radiographie, IRM.

Le **document 1** vise à mettre en évidence les constituants principaux d'une articulation (muscles, tendons, os, ligaments) ainsi que leurs caractéristiques. La dissection pourra être mise à profit pour identifier les parties rigides, élastiques ou déformables de l'articulation et déterminer les structures qui maintiennent son intégrité.

Le **document 2** permet de replacer les structures découvertes précédemment, sur une IRM et sur un schéma de synthèse.

Le **document 3** présente deux exemples explicites de traumatismes articulaires liés à une pratique sportive.

Le **document 4** permet une généralisation des observations précédentes à la pratique sportive de tous niveaux. L'illustration peut être une ouverture sur les méthodes de réparation des accidents articulaires. Par ailleurs, elle montre la proximité entre les propriétés mécaniques des tendons et des ligaments.

2. Les pistes d'exploitation

1. Les os sont des structures rigides, supports de l'articulation. Les muscles mettent en mouvement l'articulation. Les tendons attachent et transmettent la force des muscles sur les os. Les ligaments relient les os entre eux et maintiennent la cohésion de l'articulation. La cavité synoviale et le revêtement cartilagineux agissent comme une lubrification de l'articulation.

2. Photographie gauche : torsion supra-maximale du genou gauche. Le poids du corps s'exerce en direction de la face interne du genou gauche. Les ligaments externes reçoivent la contrainte maximale.

Photographie droite : extension supra-maximale du genou droit. Le poids du joueur adverse s'exerce sur partie inférieure de la jambe en direction de l'arrière, en plus du poids propre du joueur. Les ligaments croisés qui limitent l'extension du genou sont ici touchés.

3. Tendinite (inflammation des tendons), claquage (rupture des fibres musculaires), rupture des tendons, fracture (des ménisques, de la rotule).

4. Les traumatismes peuvent être prévenus en partie par un entraînement adapté, un échauffement efficace. Des interventions chirurgicales telles que la pose de prothèses, des plasties ligamentaires, des sutures de tendons ou non chirurgicales comme les immobilisations... permettent de réparer l'articulation.

Muscles et tendons mobilisent les articulations (p. 236-237)

Connaissances	Capacités et attitude
<ul style="list-style-type: none"> Le muscle strié squelettique et les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé. Les accidents musculo-articulaires s'expliquent par une détérioration du tissu musculaire, des tendons, ou de la structure articulaire. Au cours de la contraction musculaire, la force exercée tire sur les tendons et fait jouer une articulation, ce qui conduit à un mouvement. 	<ul style="list-style-type: none"> Recenser, extraire et interpréter des informations tirées de comptes rendus d'accidents musculo-articulaires (imageries médicales). Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et/ou manipuler (dissections, maquettes, etc.) pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire. Relier les caractéristiques de l'organisation du muscle aux manifestations d'un accident musculo-articulaire.

1. Les intentions pédagogiques

Dans la continuité de l'activité précédente, le rôle spécifique des muscles dans la mise en mouvement des articulations est mis en évidence, dans le but d'envisager les contraintes qu'ils subissent et les traumatismes qui peuvent en découler.

Le **document 1** suggère par une dissection de patte antérieure, de modéliser le fonctionnement de l'articulation du coude. Ceci permet de mettre en place les notions de flexion/extension ainsi que celles de muscle extenseur/fléchisseur.

Le **document 2** présente une interprétation d'une dilacération de muscle. L'échelle microscopique montre que la solidité de l'ensemble du muscle dépend de celle de ses sous-unités, les fibres musculaires. Les déchirures musculaires ont lieu au niveau des bandes claires (plus précisément, les stries Z non visibles à cette échelle sont les zones de fragilité).

Le **document 3** apporte un complément d'information sur le travail musculaire que l'on conçoit classiquement comme un raccourcissement. En fait, le travail musculaire excentrique est plus susceptible de conduire à un traumatisme musculaire que le travail concentrique.

Le **document 4** propose d'estimer la force exercée sur un muscle en modélisant une articulation par un système de leviers. Si la notion de moment des forces n'est pas nécessairement connue, les valeurs choisies doivent permettre cependant de réaliser un calcul simple.

2. Les pistes de travail

- Le muscle 1 est un fléchisseur. Le muscle 2 est un extenseur. Les tendons transmettent les forces des muscles.
- Le muscle est formé de multiples fibres associées en parallèle. Le raccourcissement de ces fibres conduit au raccourcissement de l'ensemble du muscle.
- Au cours de la descente, le triceps s'allonge en se contractant : il travaille en excentrique. Au cours de la montée, le triceps se raccourcit en se contractant : il travaille en concentrique.
- $D = 30 \text{ cm}$, $d = 3 \text{ cm}$, $P = 10 \text{ N}$, $F = 100 \text{ N}$. Au niveau d'une articulation, les muscles relayés par des tendons actionnent des leviers qui ont pour effet de multiplier les forces auxquelles l'articulation est soumise.

Des comportements à maîtriser pour préserver sa santé (p. 238-239)

Connaissances	Capacités et attitude
Des pratiques inadaptées ou dangereuses (exercice trop intense, dopage...) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents.	<p>Extraire et exploiter des informations pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendre la différence entre l'usage thérapeutique d'une molécule et l'usage détourné qui peut en être fait ; - comprendre l'effet sur la santé des sportifs d'une pratique de dopage ; - déterminer comment se livrer à un exercice physique dans de bonnes conditions de santé. <p>Exercer sa responsabilité en matière de santé.</p>

1. Les intentions pédagogiques

Cette double page s'intègre dans une démarche d'éducation à la santé. Les documents choisis peuvent être à la base d'une discussion argumentée sur les aspects positifs ou négatifs d'un point de vue médical, de la pratique sportive.

Le **document 1** permet une justification par des études chiffrées, du bénéfice pour la santé apporté par la pratique d'une activité physique. Ces données pourront être utilement mises en relation avec l'évolution de la prévalence du surpoids et du spectre des maladies associées.

Le **document 2** choisit de s'intéresser à l'échauffement comme moyen de prévention des accidents musculo-articulaires.

Le **document 3** présente des informations utiles pour différencier les traumatismes en fonction de l'activité physique pratiquée.

Le **document 4** fournit des données sur l'usage médical des produits utilisés dans le cadre du dopage et leurs conséquences sur la santé. Certains effets pourront être mis en relation avec les notions précédemment acquises sur les articulations.

2. Les pistes de travail

1. On peut évoquer la réduction du risque de survenue de maladies cardiovasculaires.
2. Par exemple, footing à vitesse réduite pour augmenter la température des membres inférieurs. Étirements des muscles de la cuisse et des mollets. Course avec des foulées bondissantes pour chauffer spécifiquement les groupes musculaires mis en jeu au cours du sprint.
3. L'usure des fibres musculaires, des fibres tendineuses, des pièces osseuses, etc., peut être à l'origine de blessures. Une pratique inadaptée à la condition physique ou à l'environnement peut conduire à des accidents sportifs (entraînement insuffisant, prise de risques inconséquents, matériel inadéquat).
4. Les stéroïdes augmentent la masse musculaire et la production de cellules sanguines ce qui améliore les performances sportives. Le sportif dopé augmente ses risques de développer des maladies cardio-vasculaires, altère le fonctionnement de ses systèmes nerveux et reproducteur en particulier.

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève, p. 257.

6 | Éviter les lésions musculaires

1. Deux jours après un exercice de 70 contractions excentriques maximales, le taux de créatine kinase augmente de 100 à 2 300 mU · mL⁻¹ en trois jours. Lorsque ces contractions ont lieu deux semaines après 20 contractions maximales, le taux de créatine kinase ne varie pas au cours du temps. Après 24 contractions maximales, l'augmentation du taux de créatine kinase est limitée à 500 mU · mL⁻¹ en cinq jours. Les dommages musculaires dus à l'exercice de 70 contractions peuvent être prévenus par un exercice de 24 contractions le précédent de deux semaines.
2. Cette expérience montre que l'entraînement permet d'éviter les lésions musculaires.

N° d'éditeur : 10164604
Imprimé en France par Sepac
Dépôt légal : Octobre 2010