



# Livre du professeur

## SOMMAIRE

<b>THÈME 1</b>	<b>La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée</b>	
Chapitre 1	La Terre, une planète qui abrite la vie	2
Chapitre 2	Les molécules de la vie	5
Chapitre 3	La cellule et l'unité du vivant	7
Chapitre 4	L'ADN, molécule universelle et variable	10
Chapitre 5	Biodiversité actuelle, biodiversité passée	13
Chapitre 6	Diversité et parentés au sein des vertébrés	16
Chapitre 7	Une première approche de l'évolution	19
<b>EXERCICES DU THÈME 1</b>		22

<b>THÈME 2</b>	<b>Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol</b>	
Chapitre 1	De la lumière solaire à la matière organique : la photosynthèse	26
Chapitre 2	Les combustibles fossiles	29
Chapitre 3	Les conséquences de l'utilisation des combustibles fossiles	32
Chapitre 4	Les énergies renouvelables, d'autres formes d'énergie solaire	35
Chapitre 5	L'agriculture et l'alimentation humaine	38
Chapitre 6	Les sols, une ressource fragile	41
<b>EXERCICES DU THÈME 2</b>		44

<b>THÈME 3</b>	<b>Corps humain et santé : l'exercice physique</b>	
Chapitre 1	L'effort physique et ses effets	48
Chapitre 2	L'apport de dioxygène et de nutriments aux muscles	51
Chapitre 3	La pression artérielle, une grandeur régulée	54
Chapitre 4	Le système musculo-articulaire et sa fragilité	57
Chapitre 5	Le sport : pratiques à risques et pratiques responsables	60
<b>EXERCICES DU THÈME 3</b>		62

Livre du professeur téléchargeable gratuitement  
sur le site du manuel de SVT 2<sup>e</sup> : [www.libtheque.fr/svtlycee](http://www.libtheque.fr/svtlycee)

**Directeur d'ouvrage**  
André Duco

### Auteurs

Audrey Carpentier  
Frédéric Celle  
Grégoire Daoust  
Nicole Dewitz  
Clara Etner  
Hervé Froissard  
Christophe Laville  
Anne-Marie Le Moine  
Yvon Le Moine  
Laurent Loison  
Céline Mémeteau  
Bernard Msihid  
Jean-Michel Picoche  
Samuel Rebulard  
Pascal Rey  
Alain Tassel  
Pierre-Olivier Thébault  
Elena Salgueiro  
Andaine Seguin  
Sébastien Vigier

### Coordinateurs pédagogiques

Claude Censier  
Bernard Gissot

### Conseillers scientifiques

Rémi Cadet  
Ludovic Orlando  
André Schaaf

# THÈME 1. LA TERRE DANS L'UNIVERS, LA VIE ET L'ÉVOLUTION DU VIVANT : UNE PLANÈTE HABITÉE

## CHAPITRE 1

# La Terre, une planète qui abrite la vie

UNITÉ

1

## La Terre, une planète du système solaire

[pp. 16-17 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<ul style="list-style-type: none"><li>« La Terre est une planète rocheuse du système solaire ».</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Recenser, extraire et organiser des informations pour :<ul style="list-style-type: none"><li>comparer les différents objets du système solaire et dégager les caractéristiques de la Terre (<b>doc. 1 à 6</b>);</li><li>s'informer et raisonner à partir d'un tableau (<b>doc. 2</b>), d'un schéma (<b>doc. 1, 4 et 6</b>), d'une image (<b>doc. 3 et 5, atelier p. 26</b>);</li><li>montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques et communiquer à l'oral (<b>atelier p. 26</b>).</li></ul></li></ul>

### Conseils et suggestions

- La **page d'ouverture du chapitre** peut être utilisée pour aborder l'observation de la Terre et prendre conscience de la présence d'eau sous forme d'un océan et de nuages.
- Les élèves savent que le Soleil, une des innombrables étoiles de l'Univers, est la source de lumière et de chaleur pour les différents objets du système solaire. La Terre, une des planètes en orbite autour du Soleil, est entourée d'une atmosphère et abrite des organismes vivants.
- L'objectif de ce chapitre est de comprendre quelles singularités de la planète Terre la rendent habitable.
- Il peut être intéressant de revenir à la nouvelle définition des planètes d'août 2006 pour justifier que Pluton ne soit plus considérée comme une planète (**doc. 2**).
- Le terme de planètes gazeuses mérite d'être nuancé : ces géantes possèdent sous leur atmosphère particulièrement épaisse des couches liquides voire solides (**doc. 5 et 6**).
- L'utilisation de **sites Internet** (NASA, ESA, etc.) permet de trouver de nombreuses images des planètes du système solaire et en particulier des images de la surface rocheuse de Mars et Vénus.
- Il est intéressant de rappeler aux élèves que l'Homme n'est allé que sur la Lune, mais que des analyses à distance ont fourni des renseignements très précis sur la composition des planètes rocheuses (en particulier Mars, **doc. 3 et 4**), mais aussi celle des astéroïdes et des comètes (**doc. 2**).
- Les **ateliers d'exploration** (p. 26) s'ancrent dans cette unité et permettent un travail complémentaire intéressant.

### Exploitation des documents par les activités

- DOC. 1 ET 2** (*S'informer à partir d'un schéma et d'un tableau*). Les planètes sont toutes des corps sphériques, mais elles sont de tailles différentes, plus ou moins éloignées du Soleil, de masse volumique (ou de densité) et de compositions chimiques variables. Elles possèdent toutes (sauf Mercure) une atmosphère dont l'épaisseur varie.
- DOC. 2 À 6** (*S'informer pour établir une relation entre différents documents*). On peut regrouper les planètes en deux groupes, chacun étant caractérisé par un ensemble de critères différents : 1<sup>er</sup> groupe, Me, V, T et Ma (planètes internes, de petite taille, rocheuses); 2<sup>d</sup> groupe, J, S, U et N (planètes externes, géantes gazeuses).
- DOC. 2** (*S'informer à partir d'un tableau et de sa légende*). Les astéroïdes et les comètes se distinguent des planètes par : petite taille, forme souvent irrégulière, pas d'atmosphère; de plus les comètes ont une orbite très elliptique et une composition chimique particulière.
- DOC. 2 À 4** (*Mettre en relation des documents*). Ce sont deux planètes internes rocheuses, de même composition chimique, possédant une atmosphère. Elles ont une structuration en trois couches concentriques.
- EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). La Terre est une planète rocheuse dont la taille, la masse volumique et l'épaisseur de l'atmosphère sont les plus importantes dans le groupe des planètes internes.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Les conditions physico-chimiques qui règnent [sur Terre] permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie. Ces particularités sont liées à la taille de la Terre [...] »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et organiser des informations pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre (<b>doc. 1 à 7</b>);</li> <li>relier les particularités de la planète Terre à sa masse (<b>doc. 7</b>);</li> <li>s'informer et raisonner à partir d'un tableau (<b>doc. 5</b>), d'une image (<b>doc. 1 à 3, 6 et 7 et exercices 5 et 6</b> pp. 24-25), d'un texte (<b>doc. 4 et exercice 6</b> p. 25) et d'un graphique (<b>exercice 7</b> p. 25).</li> </ul> </li> </ul>

## Conseils et suggestions

- Dans l'unité précédente, on a montré que la Terre était une planète rocheuse parmi d'autres. Dans cette unité 2, on mettra en évidence les singularités de la Terre qui permettent le maintien de la vie (eau liquide et atmosphère compatible avec la vie).
- Il est indispensable d'établir des liens avec **l'enseignement de physique** à propos de l'atmosphère et des états de l'eau (cf. nouveau programme de 2<sup>e</sup>).
- Pour comprendre le principe de l'établissement du **doc. 1**, on pourra se reporter aux sites de la NASA concernant la mission Mars Odyssey. Un spectromètre à rayons gamma « GRS » a été utilisé. Grâce aux rayons gamma que l'hydrogène émet directement, les scientifiques ont pu mesurer la quantité d'eau du sol, sur une profondeur de quelques dizaines de centimètres. Ce spectromètre est couplé à deux détecteurs de neutrons qui permettent en plus d'effectuer des observations jusqu'à 1 mètre sous la surface, en mesurant le ralentissement ou l'absorption des neutrons par les atomes d'hydrogène.
- Sur la photo du **doc. 3**, on pensera à faire découvrir la présence d'eau sous ses trois états sans assimiler les nuages à de la seule vapeur d'eau.
- Le **doc. 6** révèle des couches atmosphériques de composition différente (richesse en vapeur d'eau, en aérosols, en poussières) grâce à l'absorption différentielle des différentes radiations solaires par ces éléments.
- Sur l'image du **doc. 7**, on pourra mettre l'accent sur le fait que la précision des détails visibles à la surface de la Lune est due à l'absence totale d'atmosphère (à comparer à Vénus doc. 3 p. 20).
- **L'exercice guidé 5** (p. 24) permet de faire réfléchir les élèves sur la présence ancienne d'eau liquide sur Mars. Les **exercices 6 et 7** (p. 25) offrent un prolongement à cette unité.

## Exploitation des documents par les activités

- DOC. 1 À 4** (*S'informer à partir d'un texte et d'images*). L'eau existe sous forme solide (glace) au moins sur Mars, sur Europe, sur d'autres satellites de Jupiter et de Saturne, dans les anneaux de Saturne. Elle existerait peut-être même à l'état liquide sous la surface glacée d'Europe. En revanche, elle existe sous ses trois états sur Terre avec un volume très important d'eau liquide, en particulier à sa surface, ce qui fait la singularité de notre planète.
- DOC. 5 ET 7** (*S'informer à partir d'un tableau et d'une image légendée*). La présence d'une atmosphère autour des planètes rocheuses semble directement liée à la taille du corps céleste : Mercure et la Lune sont trop petits pour conserver une atmosphère.
- DOC. 5 ET 6** (*Mettre en relation des documents et raisonner*). L'atmosphère de la Terre est plutôt épaisse pour une planète rocheuse, mais la pression atmosphérique est limitée. Sa composition est singulière à la fois par la présence de O<sub>2</sub> et le faible pourcentage de CO<sub>2</sub>. Sur Terre, le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau permettent, grâce à l'effet de serre, de maintenir une température compatible avec la vie. O<sub>2</sub> et ozone sont des gaz favorables à la diversité du vivant actuel.
- EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les conditions qui permettent le maintien de la vie sur Terre sont :
  - présence importante d'eau liquide en surface ;
  - présence d'une atmosphère suffisamment épaisse et d'une composition en gaz originale, maintenant un effet de serre suffisant pour que l'eau puisse exister à l'état liquide ; cette atmosphère est, de plus, favorable à la vie.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<p>« Les conditions physico-chimiques qui règnent [sur Terre] permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie. Ces particularités sont liées [...] à la position de la Terre dans le système solaire. 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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre (<b>doc. 1 à 3</b>);</li> <li>– relier les particularités de la planète Terre à sa distance au Soleil et définir une zone d'habitabilité autour des étoiles (<b>doc. 1 à 7</b>);</li> <li>– s'informer et raisonner à partir d'un tableau (<b>doc. 2 et exercice 8 p. 25</b>); d'une image (<b>doc. 3, 5 et 6</b>); d'un texte (<b>doc. 4</b>); d'un graphique (<b>doc. 1</b>); d'un schéma (<b>doc. 7</b>).</li> </ul> </li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Dans l'unité 2, on a lié la présence d'une atmosphère à la taille de la planète. On explique dans cette unité 3 comment l'eau liquide peut exister sur Terre (**doc. 1 à 3**). Dans un second temps on s'interroge sur l'existence de conditions favorables à la vie ailleurs que sur Terre (**doc. 4 à 7**).

– Il est possible de **modéliser** la température de surface des planètes en fonction de la distance au Soleil en utilisant un montage simple comprenant une source de chaleur (lampe à filament ou halogène) et une sonde thermique suffisamment précise. Il faudra prendre la précaution de commencer les premières mesures à distance, avant de rapprocher la sonde. Ce qui peut être aisément montré, c'est la non-linéarité de la relation distance/température. Il faudra également critiquer les limites du modèle.

– Dans le **doc. 2**, les variations des températures mesurées sont liées aux variations d'éclairement (jour, nuit, latitude, saisons, etc.). Les moyennes ne sont pas une simple moyenne arithmétique entre le minimum et le maximum, mais correspondent à des moyennes globales pondérées.

– Les recherches astronomiques récentes ont permis de découvrir un nombre important d'exoplanètes dont certaines peuvent être localisées dans la zone d'habitabilité de leur étoile.

– Il est indispensable de bien distinguer zone d'habitabilité, planète (voire satellite) habitable et planète habitée (**doc. 4**).

– Il faudrait ne pas négliger de faire comprendre aux élèves que la vie, si elle existe ailleurs, n'aura peut-être rien à voir avec la vie actuelle ou passée sur Terre.

– L'**exercice 8** (p. 25) est à relier à cette unité.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*S'informer à partir d'un graphique et d'un tableau et raisonner*).

Il existe un lien évident entre position par rapport au Soleil et température (même si cette relation n'est pas linéaire). Or la température est l'un des facteurs déterminant l'état de l'eau.

**2 DOC. 2 ET 3** (*Calculer et émettre une hypothèse explicative*).

La température mesurée est toujours égale ou supérieure à la température théorique. (Me: 0°, V: + 430°, T: + 32°, Ma: + 10°, L: 0°)

La présence d'une atmosphère est à l'origine des différences entre les deux températures, mais l'importance de ces différences semble aussi liée à la densité de celle-ci et sa teneur en gaz à effet de serre.

**3 DOC. 4 À 7** (*S'informer à partir d'un ensemble de documents et discuter de la validité d'une notion*).

Pour être habitable, une planète doit posséder de l'eau liquide. Parmi les objets cités, Encelade est susceptible d'en posséder. Les exoplanètes Gliese c et d sont dans la zone d'habitabilité et pourraient donc contenir de l'eau liquide en surface. On n'en a toutefois aucune preuve. Encelade n'est pas dans la zone d'habitabilité et pourtant pourrait être habitable. À l'inverse, un objet présent dans une zone d'habitabilité n'est pas forcément habitable.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*).

La Terre possède de l'eau liquide en surface grâce à la température qui y règne. Celle-ci dépend de la distance au Soleil ainsi que de la présence d'une atmosphère dont la pression et la composition en gaz à effet de serre modulent la température de surface. Des objets célestes qui présenteraient des caractéristiques voisines de celles de la Terre seraient susceptibles d'abriter la vie.

## UNITÉ 1

### La composition chimique des êtres vivants

[pp. 28-29 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau. L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non vivant (<b>doc. 1 à 7</b>).</li> <li>Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : graphique, numérique (<b>doc. 2</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– La **page d'ouverture du chapitre** (p. 27) peut être utilisée pour initier un questionnement sur la constitution de la matière vivante, sur la distinction vivant/inerte et sur la notion d'échelle dans le monde vivant (on pourra également se référer à **l'échelle des tailles** qui se trouve sur le rabat avant de la couverture).

– L'objectif de cette unité est de parvenir à identifier les différences et les points communs entre matière vivante et matière inerte (**doc. 1 à 4**), puis d'insister sur les propriétés de deux éléments clés de la chimie du vivant : le carbone (**doc. 5 et 6**) et l'eau (**doc. 7**). L'**exercice 6** reprend cette problématique (voir p. 35).

– Pour l'exploitation du **doc. 2**, quatre histogrammes sont attendus (activité 2) : ils peuvent être réalisés à l'aide d'un tableur (**activité B2i**). L'**exercice 5** (voir p. 35) offre un prolongement de cette activité.

– Un travail en lien avec l'enseignement de **physique-chimie** peut être effectué à travers les notions d'élément chimique, d'atome et de molécule (cf. « Les éléments chimiques présents dans l'Univers » dans le nouveau programme de physique-chimie pour la classe de 2<sup>e</sup>), ainsi que sur les propriétés du carbone et de l'eau (cf. « Les solutions » dans ce même programme).

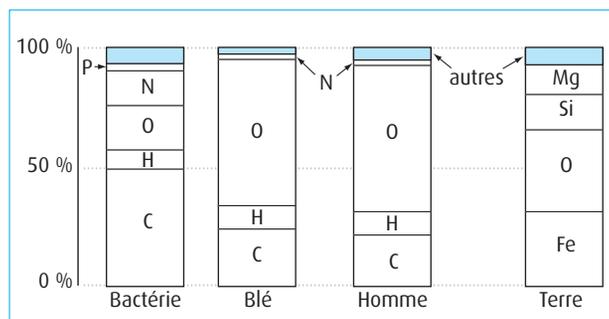
– La molécule d'amidon (**doc. 6**) peut être utilisée comme exemple de macromolécule glucidique, en lien avec **l'unité 1** (pp. 28-29). Cet exemple est également repris dans **l'exercice guidé** (voir p. 34).

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Les éléments chimiques de la Terre et des êtres vivants sont les éléments présents dans le système solaire.

On remarquera que les éléments constitutifs des êtres vivants sont parmi les plus abondants dans le système solaire.

**2 DOC. 2** (*Communiquer dans un langage approprié*).



Les êtres vivants sont surtout composés de C, H, O, N.

**3 DOC. 3 ET 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Caractéristiques de la matière vivante : richesse en eau et diversité des molécules qui la constituent, deux caractéristiques qui la distinguent de la matière inerte.

**4 DOC. 5 ET 6** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). L'atome de carbone peut former quatre liaisons, avec des atomes divers : C, H, O (comme dans la molécule d'amidon), N, etc. Ces liaisons sont solides et flexibles, ce qui permet la formation de macromolécules.

**5 DOC. 3 ET 7** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). L'abondance en eau de la matière vivante et les propriétés de la molécule l'eau sont indispensables aux transformations chimiques associées à la vie.

**6 EN CONCLUSION** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). La matière des êtres vivants est composée d'éléments chimiques présents dans le système solaire, mais dans des proportions différentes par rapport à la matière inerte. La vie est fondée sur la chimie du carbone (associé à H, O, N) en milieu aqueux. Cela correspond à l'unité chimique du vivant.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Les éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants. »	• Mettre en œuvre un processus (analyse chimique et logiciel de visualisation moléculaire) pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant (doc. 1 à 6).

### Conseils et suggestions

- Cette unité 2 est conçue autour de deux pôles complémentaires :
- identifier les principales classes de molécules organiques (lipides, glucides, protides) à partir de l'exemple du muscle (**doc. 1 à 3**);
- étudier la structure de ces trois classes de molécules à travers des exemples (**doc. 4 à 6**).
- Les molécules organiques sont mises en évidence à partir d'un fragment de muscle intercostal de bœuf, en lien avec le **thème 3** du programme, mais d'autres tissus peuvent être utilisés. On peut en particulier compléter l'unité par des mises en évidence *in situ* avec observations microscopiques (amyloplastés de pomme de terre, grains d'aleurone, gouttelettes lipidiques de ricin, etc.).
- Les tests utilisés (**doc. 2 et 3**) permettent de remobiliser et de consolider les **acquis des classes de collège**.
- Les modélisations moléculaires (**doc. 4 à 6**) ont été réalisées avec le **logiciel Jmol**. Cependant d'autres logiciels sont utilisables, comme Rastop. Ils présentent tous des fonctionnalités comparables.
- Un lien avec l'enseignement de **physique-chimie** est possible ici, par exemple à travers l'écriture des formules de Lewis des molécules présentées (cf. « Formules et modèles moléculaires, formules développées et semi-développées » dans le programme de physique-chimie 2<sup>e</sup>).
- L'**exercice guidé** (voir p. 34) peut être utilisé pour faire un point sur la compréhension de cette unité.

### Exploitation des documents par les activités

- 1 DOC. 1, 2 ET 3** (*Mettre en œuvre un processus [analyse chimique] pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant*). On compare le résultat du test au témoin, on constate que le muscle contient les trois catégories de molécules organiques : lipides, glucides, protides.
- 2 DOC. 4 À 6** (*Mettre en œuvre un processus [modélisation moléculaire] pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant*). Les lipides et les glucides sont constitués de C, H, O, les protides contiennent en plus de l'azote et du soufre.
- 3 EN CONCLUSION** (*Recenser, extraire et organiser des informations*).
  - Les **glucides** sont constitués de C, H, O. Il existe des glucides simples (exemple : le glucose) et des polymères (exemple : l'amidon) ; ils sont essentiels à la production d'énergie par les cellules et à la structure des cellules. Certains glucides sont caractérisés par le test à la liqueur de Fehling.
  - Les **lipides** sont constitués de C, H, O. Ils sont abondants dans les graisses et les huiles et ont des fonctions variées : production d'énergie, constitution des membranes, communication hormonale. Ils peuvent être caractérisés par le test du papier.
  - Les **protides** sont constitués de C, H, O, N, et éventuellement de S. Les protides de grande taille sont appelés protéines. Les protéines sont impliquées dans la réalisation de toutes les fonctions d'un être vivant. Les protides peuvent être caractérisés par le test du Biuret.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre un raisonnement expérimental pour :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– comprendre les mécanismes d'une démonstration expérimentale : comparaisons, tests, témoins (<b>doc. 1 à 5</b>);</li> <li>– montrer l'effet de mutations sur le métabolisme cellulaire et comprendre le rôle du génome (<b>doc. 5</b>);</li> <li>– repérer l'influence de l'environnement sur le fonctionnement d'une cellule (<b>doc. 4 et 5</b>).</li> </ul> </li> </ul>

### Conseils et suggestions

- La page d'**ouverture du chapitre** (p. 39) peut servir à revenir sur la notion de cellule, et à réfléchir sur les échelles du vivant (organisme, organe, tissu, cellule, etc.).
- Cette unité vise à montrer que le métabolisme est contrôlé à la fois par l'environnement (**doc. 4**) et le génome (**doc. 5**). Un modèle expérimental simple est utilisé : la fermentation alcoolique de la levure (**doc. 1 à 3**), qui a fait l'objet d'une première approche en **classe de 6<sup>e</sup>**.
- Le protocole expérimental requiert du matériel courant, mais qui peut être éventuellement remplacé par un dispositif ExAO (sonde CO<sub>2</sub>, ou pH mètre, sonde éthanol, etc.).
- Selon le temps dont on dispose, le protocole expérimental peut également être complété de façon à caractériser les différents produits de la réaction. On peut ainsi par exemple utiliser des bandelettes test glucose pour suivre l'évolution de la concentration en glucose au cours du temps (il est formé par hydrolyse du saccharose, puis est utilisé dans la glycolyse), ou encore caractériser l'éthanol (éthylotest) ou le CO<sub>2</sub> (eau de chaux : réaction vue en SVT 5<sup>e</sup> et en physique-chimie collège).
- Un lien avec l'enseignement de **physique-chimie** peut être effectué à travers la notion de réaction chimique (cf. « Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique » dans le programme de physique-chimie 2<sup>e</sup>).
- La souche SNF (**doc. 5**) peut être obtenue auprès des fournisseurs habituels de laboratoires de lycée. La souche est fournie en culture solide, il faut donc au préalable ensemencer un milieu liquide.
- Cette unité peut être l'occasion d'évoquer l'importance des micro-organismes dans l'environnement (voir « **atelier enquête** » p. 50) et dans l'industrie agroalimentaire (voir **exercice 7** p. 49).
- L'**exercice guidé** p. 48 offre un prolongement à cette unité.

### Exploitation des documents par les activités

- DOC. 1 ET 2** (*Mettre en œuvre un raisonnement expérimental*). La levure prélève des sucres et de l'eau dans son environnement et rejette de l'éthanol et du CO<sub>2</sub>.
- DOC. 3 ET 4** (*Mettre en œuvre un raisonnement expérimental*). On constate que le volume de CO<sub>2</sub> produit (et donc l'intensité du métabolisme) augmente avec la température jusqu'à un maximum d'environ 45 °C. Cette augmentation peut être en première approximation reliée à l'agitation moléculaire (loi d'Arrhenius). L'intensité du métabolisme diminue pour des températures plus importantes. On peut relier cette diminution à la baisse d'activité des enzymes impliquées dans les diverses réactions.
- DOC. 5** (*Mettre en œuvre un raisonnement expérimental ; comprendre les mécanismes d'une démonstration expérimentale*). Il s'agit de comparer la production de CO<sub>2</sub> avec un type de sucre, pour les deux souches. On constate ainsi que les levures SNF utilisent correctement le glucose, mais ne métabolisent pas le saccharose. Cela est dû à la mutation du gène responsable de l'hydrolyse du saccharose.
- DOC. 4 ET 5** (*Mettre en relation des données*). La réalisation de la fermentation alcoolique est influencée par la température et la composition du milieu. Le métabolisme est donc contrôlé par les conditions du milieu. La réalisation de la fermentation alcoolique est affectée par certaines mutations. Le métabolisme est donc aussi contrôlé par l'information génétique.
- EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifique approprié*). Voir le schéma sur le **site Internet du manuel**.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 (doc. 1 à 5).</li> <li>• Percevoir le lien entre sciences et techniques (doc. 1 à 5).</li> <li>• Communiquer dans un langage scientifiquement approprié: graphique (doc. 2 et 3).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations (doc. 4).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité est conçue autour de l'exemple d'un phagocyte, une cellule déjà connue des élèves, ce qui permet de réinvestir les **acquis de la classe de 3<sup>e</sup>**.

– L'objectif est de partir de l'organisme et de s'intéresser successivement à un organe, un tissu, une cellule, des organites, la membrane, et une molécule.

– Des préparations microscopiques commerciales de sang peuvent être observées pour visualiser les leucocytes (**doc. 2**). Cette unité peut être l'occasion de travailler l'utilisation du microscope optique et de préciser les capacités et les limites de cet instrument (grossissement, résolution, types d'observations, etc.).

– Les organites autres que le noyau sont introduits par des clichés de MET (**doc. 3 et 4**). À nouveau, on peut mener une réflexion sur les potentialités et les limites de cette technique.

– Les molécules ne peuvent pas être visualisées en microscopie électronique (en tous cas, pas au niveau atomique). Il est là encore possible d'évoquer rapidement les techniques d'élaboration de modèles moléculaires: cristallographie aux rayons X et RMN (**doc. 5**). Les modèles moléculaires peuvent être téléchargés sur un site Internet institutionnel, à l'adresse [www.librairie-demolecules.education.fr](http://www.librairie-demolecules.education.fr) ou sur le site de la Protein data bank ([www.pdb.org](http://www.pdb.org)).

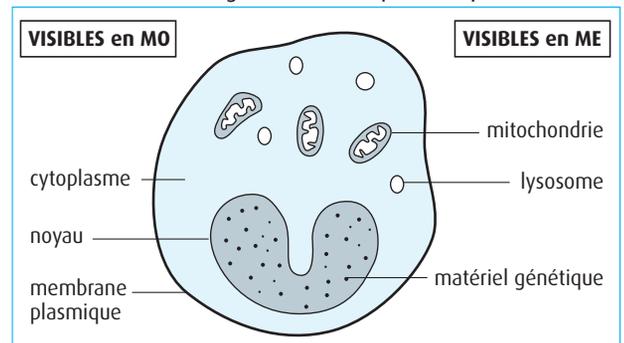
– Une échelle d'organisation du vivant peut ainsi être reliée à un ordre de grandeur et à une technique d'observation.

– Tout au long de l'unité, l'élève peut construire une échelle du vivant avec les ordres de grandeurs réels, associée à une échelle par analogie avec des objets de la vie courante (si un atome avait la taille d'une bille, alors la taille d'une cellule correspondrait à ...). Il pourra également se référer à l'échelle qui se trouve sur le **rabat avant du manuel**.

– **L'atelier « Plus loin avec Internet »** p. 50 propose une modélisation en trois dimensions de la cellule sur le site de vulgarisation du CNRS « Sagascience ».

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 2 ET 3** (*Communiquer dans un langage scientifiquement approprié*). La microscopie électronique permet d'observer tous les organites autres que le noyau.



**2 DOC. 1 À 5** (*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*). Utiliser les échelles des documents. On peut réaliser une échelle logarithmique, ou au contraire une échelle linéaire pour insister sur les ordres de grandeur. Des analogies avec des objets courants sont toujours les bienvenues.

**3 DOC. 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Le phagocyte possède une membrane plasmique qui peut se déformer pour former des pseudopodes. Ces structures peuvent englober des micro-organismes dans le cytoplasme de la cellule. Les débris sont rejetés à l'extérieur de la cellule.

**4 EN CONCLUSION** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Dans le cas du phagocyte, la réalisation des échanges est liée à plusieurs éléments de structure de la cellule: sa membrane plasmique déformable en pseudopodes, les lysosomes contenant les enzymes digestives, et les mitochondries produisant l'énergie nécessaire à toutes les activités cellulaires.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
«L'unité structurale et fonctionnelle [de la cellule] commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparer des ultrastructures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> <li>• Communiquer dans un langage scientifiquement approprié: graphique (<b>doc. 1 à 3</b>).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre l'unité structurale et fonctionnelle du monde vivant (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Il s'agit dans cette unité d'observer des cellules végétales chlorophylliennes (**doc. 1 et 2**) et des bactéries (**doc. 3**), et de mettre ces observations en parallèle avec les observations de cellules animales de l'unité 2 de ce chapitre (on s'appuiera aussi sur les acquis des élèves des classes de 6<sup>e</sup> sur la cellule comme unité du vivant, et de 3<sup>e</sup> sur l'existence de différents types de cellules).

– On se propose d'observer l'élodée du Canada comme modèle de cellule végétale (**doc. 1**), mais d'autres supports sont bien entendu envisageables. Les algues unicellulaires (chlorelles par exemple) se prêtent également particulièrement bien à ce type d'observation au microscope optique. On peut également envisager d'étudier des protistes (euglènes par exemple) ou des cellules végétales non chlorophylliennes pour mener plus avant la discussion phylogénétique (voir aussi la **classification du vivant** à l'intérieur de la couverture avant du manuel).

– Les bactéries sont présentées ici en microscopie électronique (**doc. 3**). On peut envisager une observation en microscopie optique, par exemple à partir des bactéries du yaourt, ou même à partir d'un prélèvement de cellules buccales, ce qui permet en outre de réinvestir la notion d'échelle.

– On se contente dans le **doc. 4** d'une présentation par ensembles emboîtés (le logiciel VUE peut par exemple être utilisé dans ce cadre). Les élèves peuvent être amenés à construire un arbre phylogénétique à partir de ce travail.

– En prolongement de cette unité, l'**exercice 8** p. 49 propose un travail sur les observations historiques de Hooke au XVII<sup>e</sup> siècle et la définition du concept de cellule. L'**exercice 6** p. 49 propose une réflexion sur l'origine des cellules eucaryotes et la théorie endosymbiotique.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 3** (*Comparer des ultrastructures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants, Communiquer dans un langage scientifiquement approprié: graphique*).

Voir le **site Internet du manuel**. On veillera à utiliser des couleurs identiques pour chaque structure cellulaire dans les trois schémas.

**2 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*).

	humain	végétal	bactérie
Membrane	+	+	+
Chloroplaste	–	+	–
Mitochondrie	+	+	–
Noyau	+	+	–
Paroi (cellulosique)	–	+	–
Cytoplasme	+	+	+

**3 DOC. 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations*).

Toutes les cellules possèdent une membrane et du cytoplasme (êtres vivants). Les cellules humaines et les cellules d'élodée du Canada possèdent en plus un noyau (eucaryotes). Les végétaux verts présentent de surcroît des chloroplastes et une paroi cellulosique (végétaux verts).

**4 DOC. 5** (*Recenser, extraire et organiser des informations*).

LUCA possédait les caractères communs à toutes les cellules actuelles, c'est-à-dire une membrane plasmique et du cytoplasme.

**5 EN CONCLUSION** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Tous les êtres vivants sont composés de cellules, qui ont toutes la même organisation de base: un volume de cytoplasme entouré d'une membrane plasmique. La cellule est donc l'unité structurale du monde vivant. Toutes les cellules présentent un métabolisme. La cellule constitue donc également l'unité fonctionnelle du vivant.

## UNITÉ 1 La fonction de l'ADN

[pp. 52-53 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire, organiser des informations et raisonner logiquement (<b>doc. 1 à 3 et doc. 4 à 6</b>).</li> <li>• Exploiter un graphique (<b>doc. 2</b>).</li> <li>• Manipuler et expérimenter (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Extraire des informations d'un schéma (<b>doc. 5</b>) et de photos (<b>doc. 4 et 6</b>) pour mettre en évidence l'universalité de l'ADN.</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– L'exemple du transfert de gène de résistance entre bactéries (**doc. 1 à 3**) fait écho à la campagne de communication de l'Assurance maladie « Les antibiotiques, c'est pas automatique », une manière d'aborder et d'expliquer les fondements scientifiques d'un problème de santé publique, dont les élèves entendent parler dans leur vie quotidienne.

– La manipulation de transgénèse (**doc. 3**) est réalisable en classe grâce au kit « Étude pratique d'une transgénèse bactérienne » fourni par l'APBG-École de l'ADN. Les 4 boîtes de résultat présentées **doc. 3** permettent de faire réfléchir les élèves à la notion de témoin. On peut ainsi leur demander de justifier l'intérêt d'avoir préparé les deux boîtes sans antibiotique.

– Les travaux sur la protéine GFP (**doc. 4 à 6**) ont valu le prix Nobel de chimie à trois chercheurs en 2008. Pour plus d'informations sur ces travaux de recherche, on pourra consulter le site internet : [www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/gfp/gfp.html](http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/gfp/gfp.html).

– Les **exercices 5 et 6** (p. 61) ainsi que l'« atelier enquête » sur les OGM (p. 62) permettent de faire travailler les élèves sur différentes applications de la transgénèse dans les domaines industriel, médical et agro-alimentaire.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 2 ET 3** (*Manipuler et exploiter les résultats d'une expérimentation*). Sur un milieu avec ampicilline, les bactéries sensibles transformées poussent, alors que les bactéries sensibles non transformées ne poussent pas. L'injection du fragment d'ADN des bactéries résistantes dans les bactéries sensibles a rendu ces dernières résistantes à l'antibiotique. C'est donc l'ADN qui porte l'information responsable du

caractère héréditaire « résistance à l'antibiotique » : l'ADN est le support de l'information génétique.

**2 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire, organiser des informations et raisonner logiquement*). On constate sur le doc. 2 que le pourcentage de bactéries résistantes à la pénicilline augmente : de 0,5 % en 1984 à 53 % en 2002 ; ce résultat explique que les antibiotiques ne permettent plus d'éliminer efficacement les bactéries. Or on sait que le caractère « résistance à l'antibiotique » est un caractère héréditaire déterminé par l'ADN. On sait aussi (doc. 1) que les bactéries échangent naturellement entre elles des fragments d'ADN. On peut donc penser que l'inefficacité des traitements à la pénicilline est due au fait que certaines bactéries résistantes ont transmis leur fragment d'ADN « résistance à l'antibiotique » à des bactéries sensibles qui se sont ensuite multipliées.

**3 DOC. 4 À 6** (*Recenser, extraire, organiser des informations et raisonner logiquement*). Les différents êtres vivants qui ont incorporé le gène *GFP* de méduse sont fluorescents. Le gène *GFP* s'exprime donc dans d'autres êtres vivants que la méduse : l'information génétique contenue dans le gène *GFP* de méduse a donc un caractère universel.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Un fragment d'ADN inséré dans un organisme confère à celui-ci un nouveau caractère héréditaire (apparition du caractère « résistance à un antibiotique », apparition du caractère « fluorescence »). Cette observation met évidence la fonction de l'ADN en tant que support de l'information génétique. De plus, les expériences de transgénèse montrent qu'un même fragment d'ADN peut être utilisé de la même façon par des êtres vivants d'espèces différentes : la fonction de l'ADN est donc universelle au sein du monde vivant.

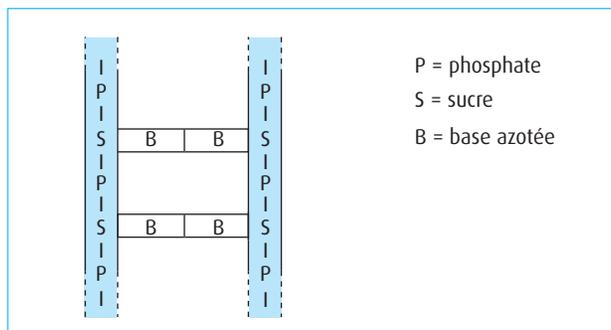
Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
Notions de double hélice, de nucléotides.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre une démarche historique (doc. 1 et 4) et utiliser des logiciels (doc. 2 et 5) pour approcher la structure de l'ADN.</li> <li>• S'informer et raisonner à partir d'un tableau (doc. 4).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- Les initiales A.D.N. sont largement connues des élèves, mais leur signification l'est peu: les **doc. 1 et 2** peuvent servir de support pour l'expliquer (Acide, car les groupements phosphates présentent des fonctions acides, Désoxyribose, Nucléique car chaque nucléotide contient du désoxyribose, Nucléique car chez les eucaryotes l'ADN est contenu dans le noyau).
- Le **doc. 2** sert de support à des calculs d'échelle et de taux de compaction de l'ADN (voir aussi **exercice guidé** p. 60).
- Les **doc. 1 et 4** sont un point de départ pour retracer les travaux des différents chercheurs ayant participé à la découverte de la structure et de la fonction de la molécule d'ADN. La complémentarité des différentes disciplines scientifiques et les très nombreux résultats expérimentaux nécessaires à la construction du savoir peuvent être soulignés.
- À la fin d'une séance d'exploration individuelle de la structure de la molécule d'ADN à l'aide du **logiciel Rastop**, un schéma-bilan peut être réalisé sur tableau numérique interactif (TNI), comme proposé sur le site de l'académie de Versailles ([www.svt.ac-versailles.fr/spip.php?article383](http://www.svt.ac-versailles.fr/spip.php?article383)).
- Certains élèves ont des difficultés à se représenter une structure en 3D. Le travail sur logiciel est alors complété par la construction de maquettes de la molécule d'ADN.

### Exploitation des documents par les activités

#### 1 DOC. 1 À 3 (Réaliser un schéma).



**2 DOC. 1 ET 2** (Extraire et organiser des informations, raisonner logiquement). D'après le doc. 1, un tour d'hélice est réalisé tous les 10 nucléotides et un nucléotide se retrouve tous les 3,4 Angström. On peut donc tracer une barre

d'échelle de la hauteur d'un tour d'hélice et représentant 34 Angström. Sur le document, un tour d'hélice mesure 12 cm. Donc  $3,4 \cdot 10^{-9}$  m sont représentés par  $1,2 \cdot 10^{-1}$  m, ce qui correspond à une échelle de:  $1 \text{ cm} = 2,8 \text{ Angström}$ .

**3 DOC. 4 ET 5** (Communiquer en construisant un tableau, comprendre le lien entre un phénomène naturel et le langage mathématique). Un tableau peut être attendu comme réponse. Sperme humain:  $A/T = 0,94$ ;  $G/C = 1$ . Thymus humain:  $A/T = 1$ ;  $G/C = 1,2$ . Foie humain:  $A/T = 1$ ;  $G/C = 1,2$ . Levure:  $A/T = 0,96$ ;  $G/C = 1,1$ . Bactérie:  $A/T = 1,1$ ;  $G/C = 1,1$  Les rapports A/T et G/C sont toujours proches de 1. Le taux de A et le taux de T sont égaux, donc un A sur une chaîne est toujours en face d'un T sur l'autre chaîne. De même, un G sur une chaîne fait toujours face à un C sur l'autre chaîne. C'est un indice de l'universalité de la structure de la molécule d'ADN, qui obéit aux mêmes lois chez tous les êtres vivants. Cette association spécifique des bases est observable sur la modélisation du doc. 5: des liaisons faibles s'établissent entre l'adénine et la thymine, et entre la cytosine et la guanine.

**4 DOC. 4 ET 5** (Communiquer en construisant un tableau, comprendre le lien entre un phénomène naturel et le langage mathématique).

Sperme humain:  $G + C/A + T = 0,6$ .

Thymus humain:  $G + C/A + T = 0,63$ .

Foie humain:  $G + C/A + T = 0,61$ .

Levure:  $G + C/A + T = 0,55$ . Bactérie:  $G + C/A + T = 2,3$

Le taux  $G + C/A + T$  est constant pour les prélèvements effectués à l'intérieur d'une même espèce, mais diffère d'une espèce à l'autre. Cela suggère que la proportion des différents types de nucléotides, différente d'une espèce à l'autre, est porteuse d'une information.

**5 EN CONCLUSION** (Communiquer en rédigeant une synthèse). La molécule d'ADN est constituée de deux chaînes, enroulées en double hélice autour d'un axe. Chaque chaîne est une succession de nucléotides (motif formé d'un groupement phosphate, d'un sucre et d'une des 4 bases suivantes: adénine, thymine, guanine ou cytosine). Les deux chaînes sont reliées l'une à l'autre par des liaisons faibles qui s'établissent entre les bases azotées: une adénine d'une chaîne est toujours reliée à une thymine située sur l'autre chaîne, une cytosine est toujours reliée à une guanine.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN (mutation). L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants. » Notion de séquence.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraire des informations d'une observation microscopique (<b>doc. 1</b>), d'un texte (<b>doc. 2 et 6</b>), de comparaison de séquences (<b>doc. 3 et 5</b>).</li> <li>• Utiliser des logiciels de comparaison de séquences (<b>doc. 3 et 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Le **doc. 2** peut être un point de départ pour une recherche personnelle sur le lien entre sciences et techniques, sur les différents métiers des biotechnologies et les parcours de formation correspondants, et sur les avancées techniques du séquençage des génomes.

– Dans le cadre de la **maîtrise des technologies de l'information et de la communication**, l'utilisation de deux logiciels de comparaison de séquences est proposée: le logiciel Anagène (**doc. 3**), dont l'utilisation peut faire l'objet d'une évaluation au baccalauréat, et le logiciel gratuit Seaview (**doc. 5**), dont l'utilisation peut être précédée d'une recherche de séquences dans la banque de données Genbank.

– La recherche dans les banques de données de séquences issues d'organismes très divers peut être utile pour montrer que chez tous les êtres vivants, l'information est codée en séquence de nucléotides, ce qui est un indice de la parenté entre les êtres vivants.

– Le **doc. 3** peut être également utilisé pour calculer le nombre de séquences potentielles pour les gènes *p53* et *HoxB6*. Ainsi, l'élève peut comprendre comment, avec seulement 4 types de nucléotides, il peut exister 30 000 gènes différents chez l'Homme. Un parallèle peut alors être fait avec l'alphabet latin à 26 lettres.

– L'exemple des souris à abajoues (**doc. 4 et 5**) permet d'insister sur les notions de caractère observable, de gène et d'allèle, abordées en **classe de 3<sup>e</sup>**. Il pose également les bases moléculaires nécessaires pour aborder les mécanismes de la sélection naturelle (cf. **chapitre 7**).

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 2 ET 3** (*Extraire des informations, utiliser un logiciel de comparaison de séquences*). Les deux gènes présentent une structure tridimensionnelle identique, mais la taille du gène et surtout l'ordre dans lequel les différentes bases se succèdent (la séquence) sur une chaîne différent d'un gène à l'autre. Cette caractéristique permet à l'ADN de déterminer des caractères différents.

**2 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire, organiser des informations et raisonner logiquement*). On note des différences de séquences entre gènes (**doc. 3**), qui peuvent être considérés comme des mots formés d'une succession de lettres A, T, C ou G. L'ADN est donc une molécule codée: l'information génétique y est inscrite sous la forme d'une séquence de nucléotides. Le séquençage est une technique permettant de retranscrire la séquence de toute molécule d'ADN et donc d'accéder au codage de l'information génétique. Les chercheurs peuvent alors, grâce à des logiciels, comparer les séquences de gènes différents chez une même espèce, de gènes chez différentes espèces, d'allèles du même gène chez différents individus, etc.

**3 DOC. 4 À 6** (*Extraire des informations, utiliser un logiciel de comparaison de séquences*). Sur le plan génétique: la souris claire possède deux allèles d du gène *MC1R*, la souris foncée porte deux allèles D. Sur le plan moléculaire: les séquences des allèles du gène *MC1R* sont presque identiques, mais elles présentent des différences ponctuelles (ex: en position 325 du gène, l'individu clair possède un T et l'individu foncé un C).

**4 DOC. 4 À 6** (*Raisonner logiquement*). Les mutations (modification du nucléotide 325 par exemple) sont à l'origine des différentes versions du gène (allèles D et d du gène *MC1R* par exemple). Ainsi, la variabilité génétique repose sur des variations de la séquence nucléotidique de l'ADN, correspondant aux mutations. L'information étant portée par la séquence du gène, une différence de séquence peut entraîner une différence d'information et expliquer les divers caractères (coloration du pelage) observés.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'ADN présente une structure tridimensionnelle universelle, avec un squelette sucre-phosphate stable. En revanche, la succession des bases, ou séquence, varie le long de la molécule. L'information génétique est ainsi codée sous la forme d'une séquence de nucléotides. Chaque gène possède une séquence qui lui est propre. Une variation ponctuelle de cette séquence, ou mutation, peut être à l'origine de différents allèles d'un gène et donc de différences de caractères observables chez les individus.

UNITÉ **1**

## Les différents niveaux de la biodiversité

[pp. 66-67 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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"> <li>• Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique (<b>doc. 1 et 2</b>).</li> <li>• Comprendre la nature provisoire, en devenir, du savoir scientifique (<b>doc. 4 à 6</b>).</li> <li>• Exprimer et exploiter des résultats, à l'écrit, à l'oral, en utilisant les technologies de l'information et de la communication (<b>doc. 6</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- La **page d'ouverture** du chapitre (p. 65) peut faire réfléchir les élèves sur la présence d'animaux sauvages en ville. Pour les faucons pèlerins habitant dans des villes comme New York ou Paris, des lieux de nidage et des proies (des pigeons) sont indispensables. C'est une illustration de l'importance de l'habitat et des interactions entre espèces pour l'existence d'une biodiversité, même minimale.
- Cette unité peut être utilement complétée par une sortie sur le terrain avec l'utilisation de **clés de détermination** (faunes et flores).
- L'**atelier « À la recherche de la biodiversité »** (p. 76 du manuel) peut servir de fil conducteur pour un inventaire de biodiversité locale. Il faut prévoir d'étudier au moins deux écosystèmes différents. L'influence de l'Homme (**unité 3**) peut également être mise en évidence à cette occasion.
- Les **doc. 4 à 6** peuvent être l'occasion de travailler sur l'histoire de l'inventaire de la biodiversité (grandes expéditions et voyages naturalistes par exemple) et de visiter des collections d'un muséum d'histoire naturelle.
- L'importance des interactions entre êtres vivants dans le fonctionnement d'un écosystème (**doc. 3**) peut être illustrée par les **exercices 4 et 7** (pp. 74-75) ou par l'**atelier sur les abeilles** (p. 76).
- L'ensemble du chapitre doit être une occasion de contribuer à une **éducation à l'environnement et au développement durable**.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Le doc. 3 explique que la biodiversité n'est pas uniquement spécifique. Elle est également visible à une échelle qui englobe les espèces et leurs relations (les écosystèmes)

ou à une échelle intraspécifique : la biodiversité génétique. La mare et la forêt sont des illustrations de la biodiversité des écosystèmes (**doc. 1**). La coquille de l'escargot des bois (**doc. 2**) est une illustration de sa biodiversité génétique.

**2 DOC. 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). On constate que l'effort d'inventaire de la biodiversité par la communauté scientifique n'est pas le même selon les groupes étudiés. 50 % des oiseaux connus en 1970 l'étaient déjà en 1843, alors qu'il faut attendre 1960 pour identifier 50 % des arachnides connues en 1970. Si on suppose que l'allure des courbes change peu après 1970, il est probable que l'on a trouvé peu de nouvelles espèces d'oiseaux après 1970, alors que la biodiversité connue des arachnides a continué à augmenter rapidement.

**3 DOC. 4 À 6** (*Comprendre la nature provisoire, en devenir, du savoir scientifique*). Tous les groupes d'espèces ne sont pas inventoriés à la même vitesse. La taille (exemple : les bactéries), la visibilité (exemple : les espèces du sol) ou l'accessibilité des espèces (régions du monde lointaines, milieux difficilement accessibles : fonds des mers, grottes, forêts de montagne, etc.) sont une première série de causes de différence. Le nombre de spécialiste par groupe et le nombre d'espèces dans chaque groupe rendent également cet inventaire assez inégal.

**4 DOC. 6** (*Exprimer et exploiter des résultats en utilisant les technologies de l'information et de la communication*). Les insectes apparaissent comme dominant largement la biodiversité spécifique actuelle (47 % du total). Voir le graphe sur le **site Internet du manuel**.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). La biodiversité peut se définir à trois niveaux emboîtés : écosystémique, spécifique (dont l'inventaire est loin d'être terminé) et génétique.

# UNITÉ 2 Des modifications de la biodiversité au cours du temps

[pp. 68-69 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<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. La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs. »</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique (<b>doc. 1</b>).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations (<b>doc. 1 à 4</b>).</li> <li>• Être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires (<b>doc. 2</b>).</li> <li>• Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique (<b>doc. 3 et 4</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

- La reconstitution des paysages du passé a été abordée en **classe de 5<sup>e</sup>**. Ici (**doc. 1**) l'accent est mis sur la variation de la biodiversité au niveau des écosystèmes et au niveau spécifique au cours du temps.
- Le pourcentage d'espèces actuelles comparé à toutes les espèces qui ont existé sur Terre n'est pas possible à quantifier. Une grande partie de la biodiversité passée n'est pas accessible (voir **exercice 5** p. 75) et ne peut être quantifiée (absence ou biais de fossilisation notamment). L'inventaire de la biodiversité spécifique actuelle n'est pas non plus terminé.
- Nous pouvons toutefois avoir des estimations de ce que représente le nombre d'espèces actuelles par rapport aux espèces passées pour un groupe donné. Il faut que les espèces actuelles de ce groupe soient (probablement) toutes connues, que la fossilisation soit d'assez bonne qualité pour pouvoir faire de la systématique sur les objets fossiles et que ce groupe soit relativement récent dans l'histoire de la Terre pour limiter les lacunes dues à la disparition des roches anciennes. Les périssoctyles et les proboscidiens présentent ces caractéristiques (**doc. 2**).
- Les crises biologiques influent fortement sur la biodiversité, mais ne sont pas représentatives des facteurs de variations qui s'exercent de façon continue sur les écosystèmes. Elles sont abordées à l'aide des **exercices 5 et 6** (p. 75).
- Étant donné le caractère partiel du registre fossile, la reconstitution d'un paléoenvironnement est souvent biaisée. Les diagrammes polliniques permettent, pour les périodes récentes, d'avoir une vision assez précise des variations des associations végétales et donc de la biodiversité (**doc. 3**). Les associations végétales peuvent être corrélées à des conditions climatiques (**doc. 3 et 4**).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*S'informer à partir d'un document*). Les deux écosystèmes sont proches par leurs caractéristiques physiques, et donc leurs conditions de vie. On y trouve des espèces qui remplissent des rôles écologiques proches -

vertébrés prédateurs aquatiques de grande taille, arbres formant une canopée et un sous-bois, etc. - tout en pouvant appartenir à des groupes différents (crocodiliens/amphibiens, plantes à fleur/lycophytes). On trouve également des espèces proches d'espèces actuelles comme les blattes dans la forêt du Carbonifère. En conclusion, les milieux de vie sont proches, mais pas forcément les espèces qui les habitent.

**2 DOC. 2** (*Être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires*). Le graphique montre que la biodiversité actuelle du groupe des éléphants et de celui des chevaux est beaucoup plus faible que celle qui a existé depuis 55 millions d'années. Mais il s'agit d'une comparaison entre une quantité instantanée et une somme d'espèces ayant existé sur une longue période de temps (dont l'inventaire n'est peut-être pas terminé). Il est donc vrai que la biodiversité actuelle représente une toute petite partie de la biodiversité ayant existé, mais une quantification précise n'est pas possible.

**3 DOC. 3 ET 4** (*Interpréter des documents*). On constate que les pollens d'arbres atteignent 60% dans la région de Creno à partir de -10 000 ans. C'est donc à partir de cette période que la région du lac Creno devient une forêt. Il s'agit d'une forêt de pins laricio jusqu'à environ 8 000 ans, puis d'une forêt dominée par d'autres arbres. Elle redevient, à l'époque récente, une forêt de pins (visible sur le doc. 4). L'augmentation récente des pins dans la région est interprétée comme une possible conséquence de l'exploitation forestière par l'Homme depuis son arrivée sur l'île.

**4 DOC. 3 ET 4** (*Interpréter des documents*). Il semble que le passage d'une steppe à une forêt est lié au réchauffement et à l'augmentation des précipitations dans la région.

**5 EN CONCLUSION.** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les espèces sont dépendantes des caractéristiques physiques d'un milieu : les changements de conditions de vie sont donc à l'origine de variations de la biodiversité. Les changements climatiques sont souvent responsables des modifications des conditions de vie et donc des variations de biodiversité dans une région donnée.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pratiquer une démarche scientifique (doc. 1 à 4).</li> <li>• Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique (doc. 1 à 4).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations (doc. 1 à 5).</li> <li>• Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement et le monde vivant (doc. 1 à 7).</li> <li>• Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (doc. 5).</li> <li>• Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société (doc. 1 à 7).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– L'un des enjeux de cette unité est de faire prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.

– Le **doc. 5** donne une vision générale des causes anthropiques de baisse de la biodiversité. Les **doc. 1 à 4** illustrent les invasions d'espèces, une cause de dégradation moins intuitive que les autres. Le **doc. 6** illustre la principale cause de baisse de la biodiversité : la destruction des habitats en zone tropicale. La vitesse de disparition de la forêt d'Amérique du Sud peut être comparée à la surface de la France métropolitaine (55 millions d'hectares).

– Dans le **doc. 5**, la somme des causes de perte de biodiversité pour un groupe donné est supérieure à 100% car certaines espèces de ces groupes sont menacées par plusieurs causes.

– Le **doc. 7** donne un exemple d'effet positif de l'Homme sur la biodiversité (agricole en l'occurrence). Cette biodiversité a été développée au fil des millénaires par des générations d'agriculteurs. Il est important de noter que l'agriculture moderne a une forte tendance à réduire cette biodiversité agricole. Les variétés locales, souvent abandonnées au profit de variétés « industrielles », avaient notamment comme avantages d'être adaptées aux conditions climatiques, édaphique et aux pratiques culturelles d'un terroir. En France, une semence ne peut être cultivée qu'à condition d'être inscrite au catalogue officiel, qui ne répertorie pas, ou peu, les variétés traditionnelles.

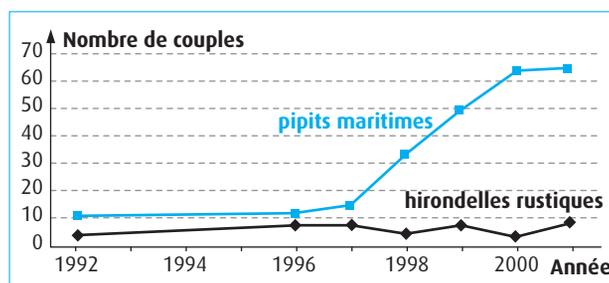
– D'autres exemples d'impact de l'Homme sur la biodiversité sont disponibles dans le **chapitre 5 du thème 2** (p. 161).

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (Pratiquer une démarche scientifique). Dans les doc. 1 et 2, on apprend que le rat est une espèce arrivée récemment (avec l'Homme) sur l'île de Trielen. Comme cet animal s'attaque aux œufs et aux poussins, il peut menacer la reproduction des oiseaux. Le doc. 3 explique que le pipit

maritime niche au sol alors que l'hirondelle rustique fait son nid en hauteur. On peut supposer que le pipit maritime est plus sensible à la présence du rat.

**2 DOC. 4** (Réaliser un graphique).



Sur le graphique, il apparaît qu'après la disparition des rats de l'île, les effectifs de pipits augmentent rapidement jusqu'à l'année 2000. En revanche, le nombre de couples d'hirondelles présente des variations, mais ne semble pas progresser. On en conclut que les rats étaient responsables des faibles effectifs de couples de pipits et que leur éradication a facilité la reproduction de ces derniers.

**3 DOC. 5 ET 6** (Interpréter des documents). La destruction des habitats semble pour tous les groupes être la cause majeure de baisse de la biodiversité. Les autres causes s'appliquent de façon hétérogène selon les groupes.

**4 DOC. 7** (Interpréter des documents). Pour l'agriculture, l'Homme a utilisé de nombreuses variétés au sein des espèces domestiquées. Il a produit celles-ci par la sélection et a ainsi contribué à augmenter la biodiversité.

**5 EN CONCLUSION.** (Communiquer en rédigeant une synthèse). De nombreuses activités et actions humaines sont responsables d'une baisse de biodiversité. Les effets positifs de l'Homme sur la biodiversité proviennent plutôt de pratiques anciennes, aujourd'hui minoritaires. L'Homme moderne a donc un impact globalement négatif sur la biodiversité.

UNITÉ **1**

## L'organisation générale de deux vertébrés

[pp. 78-79 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
«Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés (doc. 2 et 4).</li> <li>• Manipuler, recenser et organiser des informations sur l'organisation de deux vertébrés actuels (doc. 1 à 4).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- La **page d'ouverture** du chapitre peut être utilisée pour mettre en relation l'étude scientifique de la biodiversité avec sa représentation artistique, dont les peintures rupestres sont les exemples les plus anciens.
- Cette unité a pour objectif de dégager les grandes lignes de l'organisation commune aux vertébrés, à partir de deux exemples (**doc. 1 à 4**). Parmi les caractères communs aux vertébrés identifiés au cours de cette unité, seules les polarités (antéro-postérieure, dorso-ventrale) et la symétrie bilatérale (droite-gauche) sont à mémoriser.
- Si la conduite en parallèle, au cours d'une même séance, de la dissection de deux vertébrés différents est difficile à mettre en place, la comparaison peut être faite grâce aux photos. Des dissections virtuelles sont par ailleurs proposées sur certains sites Internet (voir l'**Atelier d'exploration** p. 88).
- Les animaux utilisés pour les dissections sont euthanasiés suivant des protocoles précis qui tiennent compte de la souffrance animale. Ils sont fournis, congelés, aux établissements scolaires, par les élevages spécialisés. La décongélation se fait en 2 ou 3 heures à température ambiante, ou une nuit au réfrigérateur.
- Les grenouilles sont des espèces protégées en France. Celles utilisées pour les dissections proviennent d'Europe de l'Est ou d'Afrique du Nord, où des élevages extensifs en zones humides existent.
- L'observation de la morphologie externe de l'animal, avant toute dissection, permet une première approche des polarités et de la symétrie. Les positions de l'anus, de l'orifice génital, de l'orifice urinaire chez la souris, de l'orifice du cloaque chez la grenouille, sont à observer. Le squelette interne peut être repéré au toucher.
- La dissection proprement dite permet de retrouver les polarités et la symétrie détectées par l'observation externe. On constate que la symétrie bilatérale n'est pas parfaite dans l'organisation interne (disposition du foie, du cœur, etc.).

### Exploitation des documents par les activités

- 1 DOC. 1 ET 3** (*Recenser des informations à partir d'une observation*). La tête, portant la bouche et des organes sensoriels, est située à l'avant dans le sens du déplacement. Elle est suivie du tronc (portant les membres antérieurs et postérieurs) et de la queue (chez la souris seulement). L'anus (ou l'orifice du cloaque chez la grenouille) est à l'arrière de l'animal. Sur la tête, narines, yeux et oreilles (ou tympan chez la grenouille) sont disposés de l'avant vers l'arrière
- 2 DOC. 1 ET 3** (*Recenser des informations à partir d'une observation et raisonner*). Les narines, les yeux, les pavillons des oreilles (et les tympan), les membres antérieurs et postérieurs (ainsi que les mamelles de la souris) sont les organes pairs.
- 3 DOC. 2 ET 4** (*Recenser des informations à partir d'une dissection et raisonner, communiquer en construisant un schéma*). Voir le **site Internet du manuel**.
- 4 DOC. 1 À 4** (*Recenser des informations à partir d'une dissection et raisonner*). Dans la morphologie externe et dans l'organisation anatomique de la souris et de la grenouille, on reconnaît une même disposition ordonnée des structures, de l'avant à l'arrière, qui définit l'axe antéro-postérieur. La disposition ordonnée des structures par rapport à l'orientation de la pesanteur (face ventrale dessous, face dorsale dessus) traduit la polarité dorso-ventrale. La disposition symétrique des organes (malgré quelques altérations visibles dans l'anatomie interne) montre l'existence d'un plan de symétrie bilatérale.
- 5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). La souris et la grenouille présentent une organisation commune, définie en particulier par une polarité antéro-postérieure, une polarité dorso-ventrale et une symétrie bilatérale, ainsi que par un squelette interne qui comprend une colonne vertébrale en position dorsale.

# UNITÉ 2 L'organisation du squelette de quelques vertébrés

[pp. 80-81 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune. »	• Manipuler, recenser et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et fossiles (doc. 1 à 5).

## Conseils et suggestions

– Cette unité apporte de nouvelles preuves d'une organisation commune aux vertébrés actuels et introduit des données sur des vertébrés fossiles. Ces preuves portent sur le squelette, appareil qui s'est fréquemment fossilisé et fournit des arguments paléontologiques précieux en phylogénie. Seules les définitions de squelette osseux et de vertèbre sont des connaissances exigibles du programme.

– Pour l'étude des squelettes de vertébrés actuels (**doc. 1 à 3**), l'observation d'échantillons réels est toujours plus riche que celle de photos. Des radiographies humaines (en particulier de membres), ou d'autres vertébrés, peuvent être fournies par les élèves ou leur entourage. On peut aussi intégrer d'autres exemples, tels que : oiseau, chauve-souris, cheval, baleine...

– La différenciation en régions de la colonne vertébrale est plus ou moins marquée. Chez les poissons osseux (**doc. 3**), on reconnaît seulement les régions troncale, à l'avant, où les vertèbres portent des côtes, et caudale, à l'arrière, sans côtes. Chez les lézards (**doc. 2**), la région dorsale et la région caudale sont séparées par l'insertion de la ceinture pelvienne; une région cervicale se différencie à l'avant. Chez les oiseaux et les mammifères (**doc. 1**), on distingue en plus une région thoracique avec des côtes et une région lombaire sans côtes.

– Chez les poissons osseux, les ceintures ne sont pas rattachées à la colonne vertébrale. La ceinture pectorale est reliée au crâne, la ceinture pelvienne est sans contact avec le reste du squelette. Chez certaines espèces, la ceinture pelvienne migre vers l'avant et se trouve alors en position antérieure par rapport à la ceinture pectorale (morue). Chez les tétrapodes, la ceinture pelvienne est reliée à la colonne vertébrale, la ceinture pectorale ne l'est pas.

– Concernant les membres des premiers tétrapodes, il est à noter que le nombre de doigts n'est pas toujours cinq (huit chez *Acanthostega*, **doc. 4**) et que le membre chiridien peut servir de nageoire à des tétrapodes ayant une vie aquatique, à l'exemple du dauphin (**doc. 5**).

– L'**atelier métier** p. 88 porte sur le métier de paléontologue. Une visite virtuelle de la galerie de paléontologie du Muséum national d'histoire naturelle de Paris est proposée (voir aussi les métiers en lien avec le thème 1 du programme, p. 102).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*S'informer à partir de photos, mettre en relation des informations*).

Le squelette est constitué du crâne, de la colonne vertébrale formée de nombreuses vertèbres, et du squelette des membres paires antérieurs et postérieurs, rattaché à des ceintures. Chez la carpe, les nageoires dorsale, anale et caudale, impaires, possèdent aussi un squelette osseux.

**2 DOC. 4 ET 5** (*Recenser et mettre en relation des informations à partir de schémas, raisonner*).

Dans tous les cas, on reconnaît trois parties organisées de la même façon : bras avec un seul os, avant-bras formé de deux os, poignet comprenant plusieurs petits os, et doigts.

**3 DOC. 5** (*Recenser et mettre en relation des informations à partir de schémas, raisonner*).

La nageoire pectorale de carpe comprend des pièces basales nombreuses, rattachées à la ceinture pectorale, et de très nombreux fins rayons osseux. La nageoire de dauphin est formée de trois parties comme décrit dans l'activité 2.

**4 DOC. 4 ET 5** (*Recenser et mettre en relation des informations à partir d'un texte et de schémas, raisonner*).

*Acanthostega* est un tétrapode et tous les tétrapodes ont le même squelette du membre (d'après doc. 4). Or l'Homme, le dauphin et le lézard ont le même squelette du membre qu'*Acanthostega* (voir activité 2). On en conclut que ce sont aussi des tétrapodes. La carpe, dont le squelette du membre est différent, est un vertébré non tétrapode.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*).

Tous les vertébrés étudiés ont un squelette osseux qui comprend un crâne et une colonne vertébrale formée de vertèbres. *Acanthostega*, le lézard, le dauphin et l'homme possèdent des membres dont le squelette est organisé en trois parties, dont une pièce basale unique, et pourvu de doigts. Le squelette des nageoires paires de la carpe est très différent, formé de nombreuses pièces basales et de nombreux rayons osseux.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun. »	• Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et/ou fossiles.

## Conseils et suggestions

– L'objectif de cette unité est de donner une première approche de la démarche qui permet d'établir des parentés évolutives entre espèces, en construisant des arbres phylogénétiques avec des vertébrés actuels et fossiles. On s'appuie sur des caractères qui occupent la même place dans l'organisation commune précédemment établie.

– Le concept d'évolution, déjà abordé en classe de 4<sup>e</sup>, est repris et développé dans le programme de 3<sup>e</sup>. Un arbre phylogénétique unique qui intègre tous les organismes actuels et ceux ayant vécu au cours des temps géologiques est alors proposé. Une classification des organismes en groupes emboîtés est utilisée au collège depuis la classe de 6<sup>e</sup> (le principe est rappelé dans les acquis du thème 1, voir p. 13; un exemple est donné dans le chapitre 3 du thème 1, voir p. 45). Tous ces concepts sont ici réinvestis (**doc. 1 à 3**).

– Dans cette unité, la classification est présentée sous forme d'arbre phylogénétique. La classification des êtres vivants en groupes emboîtés a été vue au collège. Signalons la classification générale qui se trouve au début du manuel (ensemble des êtres vivants) et à la fin du manuel (animaux).

– Le **doc. 1** rappelle les faits essentiels de l'évolution et les met en relation, d'une part avec l'existence de parentés entre espèces, d'autre part avec l'établissement de « groupes naturels » dans une classification du vivant. Les concepts de caractères homologues, de polarisation des caractères et d'extra-groupe ne sont pas explicités, et le principe d'une démarche cladistique n'est qu'ébauché.

– Dans les activités proposées en classe, les collections d'espèces et les attributs pris en compte pour l'établissement d'arbres doivent éviter d'éventuelles ambiguïtés. Les caractères étudiés doivent être faciles à vérifier, en particulier chez les fossiles, et présenter deux états homologues (ancestral et dérivé).

– Pour l'utilisation en classe du logiciel Phylogène (**doc. 5**), une fiche méthode très simplifiée, adaptée à la version utilisée et aux objectifs poursuivis, peut être distribuée aux élèves. Une documentation précise est disponible sur le site de l'INRP: <http://acces.inrp.fr/evolution/logiciels/phylogene/documentation-2009>.

– On peut aussi choisir de lire et d'interpréter des tableaux et des arbres établis « à la main » ou grâce à un logiciel, sans les construire.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). À partir de l'ancêtre commun à tous les animaux étudiés, les innovations évolutives apparues dans la lignée conduisant au lézard sont: 1 = yeux et bouche; 2 = colonne vertébrale et crâne; 3 = membre pourvu de doigts; 4 = vertèbres du cou avec quille. Dans la lignée conduisant aux mammifères, les innovations évolutives apparues sont, 1, 2 et 3 = les mêmes que pour le lézard et 5 = les poils.

**2 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Le dernier ancêtre commun à la souris et l'homme est situé au premier nœud qui suit l'innovation évolutive 5. Cet ancêtre possédait: yeux et bouche, colonne vertébrale et crâne, membres pourvus de doigts, et poils.

**3 DOC. 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Les vertébrés ont en commun: yeux, bouche, colonne vertébrale et crâne. Parmi eux, les tétrapodes possèdent, en plus, des membres pourvus de doigts. Les mammifères ont des poils en plus de tous les caractères précédemment cités.

**4 DOC. 4 ET 5** (*Pratiquer une démarche scientifique*). D'après l'arbre, le dernier ancêtre commun à la grenouille et à l'homme est aussi un ancêtre d'*Ichtyostega*. Comme *Ichtyostega* existait déjà il y a 360 mA, ce dernier ancêtre commun est encore plus ancien. *Cladoselache* existait déjà il y a 385 mA et c'est un proche parent du requin. Le dernier ancêtre commun au requin et à *Cladoselache* est encore plus ancien. D'après l'arbre établi, le requin, *Cladoselache* et le dauphin ne partagent comme innovation évolutive que le crâne et les vertèbres, déjà présents chez *Cladoselache*. L'ancêtre commun au dauphin et au requin a donc plus de 385 mA.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*).

L'organisation commune à tous les vertébrés et les différences entre les groupes sont le résultat d'une origine commune et de l'évolution, au cours de laquelle des innovations sont progressivement apparues.

## UNITÉ 1 La dérive génétique

[pp. 90-91 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la dérive génétique et ses effets (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> <li>Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique (<b>doc. 4</b>).</li> <li>Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (<b>doc. 3 et 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- Cette unité vise à une première approche des phénomènes aléatoires qui modifient la composition allélique des populations. La **page d'ouverture du chapitre** (p. 89) illustre l'idée de diversité biologique, moteur de l'évolution des espèces.
- L'unité s'organise en deux parties : d'abord une explication des phénomènes aléatoires en jeu (**doc. 1 à 3**), puis leur application, d'une part via une simulation informatique (**doc. 4**), d'autre par grâce à l'étude d'un cas concret (**doc. 5**). Étant donné la difficulté intrinsèque des concepts associés à cette partie du programme (fréquence allélique, erreur d'échantillonnage, brassage génétique au cours de la reproduction sexuée), il n'est pas envisageable que l'élève « construise » ces notions. On essaiera simplement de les lui faire comprendre, puis de les lui faire appliquer.
- La simulation informatique (**doc. 4**) doit permettre de comprendre que l'effet de la dérive génétique est important dans des populations de faible effectif. Elle peut être mise à profit même si la compréhension du processus de la dérive n'est pas encore complète.
- Le **doc. 5** introduit l'idée que les effets de la dérive, s'ils s'additionnent au cours du temps, peuvent conduire à une séparation génétique progressive de deux sous-populations. Cette idée sera reprise et étendue lors de l'unité 3, consacrée à la spéciation.
- L'**exercice 5** p. 99 illustre directement les effets de la dérive génétique sur les populations de faible effectif.

### Exploitation des documents par les activités

- DOC. 1 À 3** (*Recenser et organiser des informations*). Deux processus sont à distinguer : la dérive génétique au sens strict, résultant de l'échantillonnage aléatoire des allèles lors de la reproduction sexuée, et le phénomène dit du goulot d'étranglement, qui correspond à une chute drastique de l'effectif des populations.
- DOC. 4** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). La comparaison des deux graphiques montre que les variations de fréquence des allèles sont bien plus importantes lorsque l'effectif de la population est faible. Dans le cas où  $N = 10$ , l'allèle n° 2 est fixé ( $f = 100\%$ ) dès la 13<sup>e</sup> génération, alors que l'allèle n° 3 disparaît ( $f = 0\%$ ) à la 25<sup>e</sup> génération.
- DOC. 5** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). La diversité génétique est bien moindre au sein de la population des lions du cratère Ngorongoro, certains allèles ayant disparu (c, s et z).
- DOC. 1 À 5** (*Pratiquer une démarche scientifique*). Cette diminution de la diversité s'explique de deux façons :
  - d'une part, la brutale chute de l'effectif de la population (1962) a dû conduire à la perte directe de certains allèles (goulot d'étranglement) ;
  - d'autre part, l'effectif réduit de cette population, même lorsqu'elle s'est reconstituée (1975), a amplifié les effets de la dérive génétique liée à la reproduction sexuée.
- EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'effet principal de la dérive génétique au sein d'une population est la baisse de la diversité allélique. Entre deux populations, l'effet de la dérive est d'accentuer de manière aléatoire les différences génétiques entre ces populations.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La sélection naturelle [...] ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pratiquer une démarche scientifique (observer, questionner, formuler une hypothèse, raisonner avec rigueur) (<b>doc. 1 à 6</b>).</li> <li>Recenser, extraire et organiser des informations (<b>doc. 1 à 6</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité est complémentaire de la précédente: après avoir montré comment la composition allélique d'une population peut varier de manière aléatoire, il s'agit ici de comprendre que cette variation se fait également de manière orientée, en fonction des caractéristiques du milieu de vie des individus.

– Il est ici fondamental de bien distinguer la transformation allélique à l'échelle de la population (orientée par le milieu) de la variation génétique à l'échelle de l'individu (aléatoire, sans rapport avec son utilité potentielle). La sélection naturelle est un processus de tri de variations *individuelles* qui finit par transformer les *populations*.

– Pour comprendre le processus de sélection naturelle, le choix d'une **approche historique** est proposé. La première moitié de l'unité (**doc. 1 à 3**) vise à montrer comment le concept a été construit par Darwin par analogie avec la sélection artificielle pratiquée par les éleveurs pour modifier les races domestiques. La limite de cette analogie réside dans l'entité qui sélectionne: dans un cas (celui de la sélection artificielle), le choix est conscient et finalisé, c'est celui de l'éleveur; dans l'autre, le milieu trie de manière mécanique les individus en fonction de leur adaptation relative.

– Le cas étudié ensuite (**doc. 4 à 6**) reprend l'exemple développé dans le **chapitre 4 du thème 1** (p. 57 du manuel): celui des souris à abajoues. Il s'agit bien sûr d'un cas voulu comme le plus simple possible, qui illustre comment deux phénotypes différents (déterminés génétiquement) se trouvent sélectionnés positivement dans deux milieux différents. Cet exemple illustre le seul aspect de la sélection naturelle compréhensible par un élève de seconde: le tri de variations préexistantes. L'aspect le plus important et le moins compris du processus de sélection, à savoir sa capacité à produire des phénotypes complexes au cours du temps, ne peut être abordé ici.

– À nouveau, la fin de l'unité (**doc. 6**) introduit l'idée que les effets de la sélection naturelle, s'ils s'additionnent au cours du temps, peuvent conduire à une séparation génétique progressive de deux sous-populations. Cette idée sera elle aussi reprise et étendue lors de l'unité 3 consacrée à la spéciation.

– L'**atelier d'exploration** (p. 100) propose une lecture en anglais des travaux de Darwin.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). La sélection artificielle est un choix conscient réalisé par l'éleveur: il ne laisse se reproduire que certains individus. La sélection naturelle est un choix inconscient réalisé par le milieu: seuls certains individus pourront se reproduire. Une variation « utile » pour l'éleveur est une variation qui accentue une qualité recherchée chez l'animal pour des raisons économiques. Une variation « utile » dans la nature est une variation qui augmente l'adaptation relative au milieu de vie.

**2 DOC. 4 ET 5** (*Recenser et organiser des informations*). Dans le cas des souris à abajoues, la caractéristique sur laquelle s'applique la sélection est la couleur du pelage. C'est le prédateur naturel de ces souris, le grand hibou à cornes, qui est l'agent réalisant le tri sélectif.

**3 DOC. 6** (*Recenser et organiser des informations*). On constate une répartition inverse des allèles D et d selon le milieu de vie. Lorsque les souris vivent sur des sols sombres, l'allèle D est majoritairement représenté (90%), alors que lorsque les souris vivent sur des sols clairs, c'est l'allèle d qui est le plus fréquent (90%).

**4 DOC. 3 À 6** (*Pratiquer une démarche scientifique*). Sur les sols clairs, les souris au pelage clair sont moins visibles pour le grand hibou à cornes, elles ont donc plus de chance de vivre et de se reproduire, ce qui entraîne une augmentation de la fréquence de l'allèle codant le pelage clair (d). Sur les sols sombres, c'est le phénomène inverse qui se produit. La « variation » est ici la mutation de l'allèle d qui a donné l'allèle D. Cette mutation se trouve être avantageuse lorsque le milieu est sombre.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'effet principal de la sélection naturelle au sein d'une population est l'adaptation allélique en fonction des caractéristiques du milieu de vie. Entre deux populations habitant des milieux différents, l'effet de la sélection est d'accroître les différences génétiques entre ces populations, car les pressions de sélection ne sont pas les mêmes.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la formation de nouvelles espèces (doc. 1 à 6).</li> <li>• Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (doc. 4 à 6).</li> <li>• Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques et évolution des espèces (atelier d'exploration p. 100).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité met à profit les processus expliqués précédemment (dérive génétique et sélection naturelle) pour montrer comment ils peuvent conduire à la formation d'espèces nouvelles. Il est donc indispensable que cette unité soit traitée en dernier dans ce chapitre.

– Comprendre le processus de spéciation nécessite d'abord de comprendre ce qu'est une espèce. La **page de gauche** doit permettre à l'élève de retrouver la définition biologique de l'espèce, fondée sur la notion d'interfécondité, et non sur celle de ressemblance phénotypique (**doc. 1 à 3**).

– L'exemple traité **page de droite**, celui des pinsons des Galápagos (**doc. 4 à 6**), permet de réinvestir les connaissances des deux unités précédentes, puisque la dérive génétique et la sélection naturelle ont produit au cours du temps des espèces différentes de pinsons à partir d'une population souche unique.

– Cet exemple a par ailleurs un **intérêt historique** puisque Darwin séjourna dans cet archipel du Pacifique au cours de son voyage autour du monde. De retour en Angleterre, il fut très intéressé par la forte ressemblance de ces différents pinsons, ce qui contribua à l'idée que les espèces ne sont que des variétés mieux différenciées. Cette idée a été fondamentale dans sa conception de l'évolution et se retrouve indirectement dans le titre de son ouvrage principal (*L'Origine des espèces*, 1859).

– Les **exercices 6 et 7** permettent de réinvestir l'ensemble des notions construites dans les 3 unités de ce chapitre.

– La notion de **crise biologique** n'apparaît pas dans les « connaissances du programme », uniquement dans les « capacités du programme ». C'est pourquoi, elle a été abordée sous la forme d'un **atelier d'exploration** (p. 100). Il s'agit aussi d'un **acquis de la classe de 3<sup>e</sup>**, réinvesti également dans le **chapitre 5** consacré à la biodiversité (voir **exercices 5 et 6** p. 75).

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). Le doc. 2 montre que la possibilité de reproduction est fonction des différences génétiques entre deux individus : au-delà d'un certain niveau de différences, cette reproduction est impossible. Le doc. 3 présente la définition biologique de l'espèce, fondée sur le critère de l'interfécondité. On en déduit qu'à partir d'un certain seuil de différences génétiques, il y a formation de deux espèces nouvelles.

**2 DOC. 4** (*Recenser et organiser des informations*). Comme l'effectif de la population ancestrale de pinsons des Galápagos était faible, les effets de la dérive génétique ont été très puissants et celle-ci a alors contribué à séparer génétiquement les sous-populations de pinsons.

**3 DOC. 5 ET 6** (*Pratiquer une démarche scientifique*). Le pinson-fauvette possède un bec fin et allongé qui lui permet de se nourrir d'insectes et d'exploiter le nectar des fleurs. Le pinson à gros bec, pour sa part, est muni d'un bec très massif qui lui permet d'écraser les graines dont il se nourrit. La formation progressive de ces deux phénotypes résulte de l'exploitation de deux niches écologiques distinctes. Dans les milieux de forêt, les individus possédant les becs les plus fins ont été sélectionnés, ce qui a conduit à l'accentuation au cours des générations de ce caractère, pour finalement donner l'espèce pinson-fauvette. À l'inverse, dans les milieux plus ouverts et plus secs de l'archipel, les individus possédant les becs les plus massifs ont été avantagés, ce qui a également conduit à l'accentuation de ce caractère, jusqu'à la formation de l'espèce pinson à gros bec.

La divergence entre les populations a continué jusqu'à ce que les différences génétiques accumulées conduisent à l'impossibilité de toute reproduction entre individus de ces populations.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Il s'agit de faire construire aux élèves un schéma qui annonce le schéma-bilan de ce chapitre, illustrant l'idée que l'évolution se produit par divergences successives. Voir le **site Internet du manuel**.



# EXERCICES DU THÈME 1

Les corrigés des exercices des rubriques «Évaluer ses connaissances» et «S'entraîner avec un exercice guidé» se trouvent à la fin du manuel (p. 256).

## Chapitre 1

[p. 25 du manuel]

### ⑥ DE L'EAU SUR LA LUNE

Saisir des données et adopter une démarche explicative.

#### Réponses attendues:

1. L'eau se concentre surtout autour des régions polaires. On peut penser que l'eau s'y trouve sous forme solide (glace), compte tenu de la température mesurée à la surface de la Lune.
2. Les échantillons ont été récoltés près de l'équateur, où l'eau semble absente.
3. La vie nécessite la présence d'eau liquide, donc les chances sont infimes au regard de la rareté de l'eau.
4. La présence de glace d'eau laisse espérer que l'homme puisse trouver un complément de ressource d'eau liquide lors de vols habités, mais sa rareté fait craindre que ce soit insuffisant.

### ⑦ LES ÉTATS DE L'EAU

Raisonnement à partir d'un graphique.

#### Réponses attendues:

1. L'état de l'eau dépend de la pression atmosphérique et de la température.
2. En altitude, la pression atmosphérique est plus faible: le passage de l'état liquide à l'état gazeux se réalise à une température plus basse que 100 °C (environ 75 °C).
3. Sans atmosphère, la pression est quasi nulle: l'eau ne peut pas être dans un état liquide (et la vie est donc impossible).

### ⑧ GROS PLAN SUR UNE EXOPLANÈTE

Réaliser un schéma et raisonner.

#### Réponses attendues:

1. Voir schéma sur le **site Internet du manuel**.
2. La zone d'habitabilité est la zone où une planète possédant une atmosphère est à une distance de son étoile telle que la présence d'eau liquide en surface est possible. Cette présence est donc théoriquement possible pour HD23079b. Le schéma nous montre que la distance de HD23079b à son étoile est proche de la distance de la Terre au Soleil. Comme l'étoile HD23079 est comparable au Soleil, on peut émettre l'hypothèse à ce qu'il règne à la surface de HD23079b une température similaire à celle de la surface terrestre. La planète a une masse suffisante pour retenir une atmosphère. Il reste que la nature probablement gazeuse de cette planète (deux fois plus massive que Jupiter) ne semble pas compatible avec la vie. Bien qu'elle

soit dans la zone d'habitabilité de son étoile, on ne peut donc pas conclure que HD23079b soit habitable.

## Chapitre 2

[p. 35 du manuel]

### ⑤ AUX ORIGINES DE LA VIE

Recenser, extraire et organiser des informations.

#### Réponse attendue:

Il s'agit des quatre éléments principaux des êtres vivants: carbone, oxygène, hydrogène, azote

### ⑥ LA MATIÈRE VIVANTE

Réaliser un calcul et raisonner

#### Réponse attendue:

Les élèves doivent comparer les masses étuvées aux masses fraîches, la différence (en % de la masse fraîche) donnant la teneur en eau. On trouve ainsi 79 %, 83 %, 88 %, 85 % et 83 % pour les espèces 1 à 5. La matière vivante est donc caractérisée, entre autres, par sa richesse en eau.

### ⑦ DES MOLÉCULES CONTRE LA DOULEUR

Recenser, extraire et organiser des informations.

#### Réponses attendues:

1. L'enképhaline est une molécule fabriquée par l'organisme, qui contient C, H, O, N et S. C'est une molécule organique et plus précisément un protide.
2. Après injection de morphine, le graphique contient beaucoup plus de lignes noires par rapport au graphique de référence, ce qui dénote une activité neuronale plus faible. Ainsi la morphine inhibe l'activité des neurones transmettant la douleur: c'est un antalgique.
3. On constate des similitudes dans les structures de la morphine et d'une enképhaline au niveau de la zone de liaison spécifique au récepteur: présence d'un cycle à 6 carbones, d'un groupement hydroxyle OH. On peut donc supposer que la morphine se fixe au même récepteur que les enképhalines, d'où la même action antalgique.

## Exercice de méthode

[p. 37 du manuel]

#### Réponses attendues:

1. On observe au premier plan un sol d'apparence sableuse sur lequel, au deuxième plan, sont disposées des roches de taille importante. À l'arrière plan de la photographie, le relief lunaire s'avère vallonné. Ce type de paysage est celui d'une planète rocheuse.
2. Le rocher est à peu près sur le même plan que l'homme dont on peut penser que la taille vaut 1,80 m. On peut donc comparer ces deux éléments de l'image: la hauteur du bloc est d'environ deux fois celle de l'homme, soit entre 3,50 et 4 mètres
3. À part l'astronaute, l'image ne révèle aucune trace de vie

visible. Pourtant, sur la seule foi de cette photo, on ne peut pas exclure la possibilité d'une forme de vie microscopique. Le paysage semble toutefois désertique, sans eau liquide. L'astronaute est en outre équipé d'un scaphandre et semble porter des bouteilles, laissant supposer que l'atmosphère est absente ou impropre à notre respiration. Sur la base de cette image, on peut penser que les conditions lunaires semblent assez impropres au développement de la vie.

## Chapitre 3 [p. 49 du manuel]

### ⑥ L'ORIGINE DES CELLULES EUKARYOTES

*Adopter une démarche explicative.*

#### Réponses attendues :

1. Les mitochondries participent au métabolisme cellulaire.
2. Les mitochondries possèdent deux membranes, la membrane interne correspondrait à la membrane de la bactérie, la membrane externe à une membrane de phagocytose. Leur taille est cohérente avec cette hypothèse. De plus ces organites contiennent de l'ADN, qui correspondrait au génome procaryote.

### ⑦ LA FABRICATION DE LA TOMME DE SAVOIE

*Analyser un graphique et raisonner.*

#### Réponses attendues :

1. On constate sur le graphique que la concentration en galactose passe d'environ  $7 \text{ mg.g}^{-1}$  à  $0,5 \text{ mg.g}^{-1}$ , et la concentration en lactose de  $2 \text{ mg.g}^{-1}$  à  $0 \text{ mg.g}^{-1}$  en 42 jours d'affinage.
2. L'énoncé précise que l'affinage est dû à l'action de micro-organismes. Il s'agit de relier la consommation de sucres au métabolisme des micro-organismes.

### ⑧ LES OBSERVATIONS HISTORIQUES DE ROBERT HOOKE

*Communiquer dans un langage scientifique approprié.*

#### Réponses attendues :

1. Les structures observées par Hooke dans un fragment végétal (liège) sont de formes rectangulaires ou carrées, comme de « petites chambres ». D'où le terme de cellule.
2. Robert Hooke a en fait observé la paroi cellulosique située autour des cellules végétales.

## Chapitre 4 [p. 61 du manuel]

### ④ LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE CHEZ LES LEVURES

*Raisonner, traiter et exploiter des données.*

#### Réponses attendues :

1. Les deux versions du gène sont appelées allèles.
2. Les séquences des deux allèles sont très similaires. Sur une centaine de nucléotides visibles, on ne compte qu'une seule différence (au niveau du nucléotide 662). Cette modification ponctuelle de la séquence est appelée mutation.
3. Les levures possédant l'allèle  $ade2^+$  ont une version fonctionnelle du gène  $ade2$ . La biosynthèse de l'adénine se déroule normalement. Les colonies sont donc de couleur

blanc-crème. Les levures possédant l'allèle  $ade2^-$ , qui diffèrent de l'allèle  $ade2^-$  par une mutation, ont une version non fonctionnelle du gène  $ade2$ . La biosynthèse de l'adénine est donc interrompue. L'intermédiaire s'accumule, ce qui donne la coloration rouge aux colonies.

### ⑤ DES CHENILLES POUR PRODUIRE DE LA SOIE D'ARAIGNÉE

*Raisonner, mobiliser ses connaissances.*

#### Réponses attendues :

Après incorporation du gène gouvernant la synthèse de la soie chez l'araignée, les chenilles deviennent capables de fabriquer de la soie d'araignée : l'ADN du gène transféré porte donc une information, l'information génétique. De plus, deux êtres vivants d'espèces différentes étant capables d'exprimer le même gène, donc le même fragment d'ADN, on en déduit que la fonction de l'ADN est universelle.

### ⑥ DES PORCELETS TRANSGÉNIQUES POUR ÉTUDIER LA MUCOVISCIDOSE

*Raisonner, utiliser un langage scientifiquement correct à l'écrit.*

#### Réponses attendues :

- a. Voir schéma sur le **site Internet du manuel**.
- b. L'épithélium pulmonaire des porcelets transgéniques ne présente pas de canal CFTR. Donc le fragment d'ADN injecté dans les porcelets a effectivement rendu leur gène CFTR non fonctionnel, en s'intégrant dans leur génôme. La manipulation de transgénèse s'est révélée efficace.
- c. Les porcelets transgéniques présentent certains symptômes identiques à ceux des nouveau-nés humains atteints de mucoviscidose (pancréas, vésicule biliaire) et d'autres très proches (intestin). Ces animaux sont donc de bons modèles d'étude de la mucoviscidose chez l'Homme.

## Exercice de méthode [p. 63 du manuel]

#### Réponses attendues :

1. Tailles réelles : foie : 27 cm (longueur), hépatocyte :  $40 \mu\text{m}$  (diamètre), mitochondrie :  $5 \mu\text{m}$  (longueur), molécule de pyruvate : 6 Angström (longueur), atome de carbone : 1 Angström (diamètre).
2. Rapports de taille : organe/cellule : 7000, cellule/organite : 8, organite/molécule : 8000.

## Chapitre 5 [p. 75 du manuel]

### ⑤ DES FOSSILES TROMPEURS

*Analyser des données et faire preuve d'esprit critique.* Cet exercice présente la fameuse courbe de Benton. L'objet ici est de montrer que son interprétation est délicate.

#### Réponses attendues :

1. On observe une augmentation du nombre de familles marines connues du précambrien à l'Ordovicien. Il y a ensuite une relative stagnation marquée par deux crises. Une troisième crise (Permo-Trias) termine cette période de stabilité

et est suivi par une augmentation nette jusqu'à l'époque actuelle. On observe là encore deux crises pendant cette phase d'augmentation.

2. Notre connaissance de la biodiversité du passé est très incomplète. Plus les âges étudiés sont anciens et plus les fossiles sont rares. Donc la biodiversité du passé récent est mieux connue que celle du passé éloigné.

3. Sachant que certaines espèces ne se fossilisent pas et que certains fossiles ne sont pas accessibles on ne peut pas affirmer que la biodiversité du milieu du Crétacé était plus faible que la biodiversité actuelle.

## ⑥ UNE SIXIÈME CRISE DE LA VIE

*S'informer à partir d'un graphique et raisonner.* Cet exercice permet de montrer que l'action de l'Homme sur la biodiversité peut se rapprocher des grandes crises de l'histoire de la vie, même si la cause est tout à fait différente.

### Réponses attendues :

1. Crises Ordovicien-Silurien (440 Ma), Frasnien-Famennien (360 Ma), Permien-Trias (250 Ma), Trias-Jurassique (200 Ma), Crétacé-Tertiaire (65 Ma).

2. La destruction des habitats, la surpêche, la pollution et l'introduction d'espèce invasives sont les principales actions de l'Homme dégradant la biodiversité. Cette baisse importante de biodiversité rappelle par son ampleur les grandes crises de la vie.

## ⑦ LES RÉCIFS CORALLIENS ET LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

*Exprimer et exploiter des résultats.*

### Réponses attendues :

Sur le graphique, on constate qu'au-delà de 32 °C l'algue réalise de moins en moins de photosynthèse. Celle-ci est quasiment nulle à seulement 34 °C. Cela signifie que l'algue ne peut plus produire les sucres nourrissant le corail. Le corail risque alors de mourir. Avec l'augmentation mondiale de la température, on peut imaginer une augmentation locale de la température de l'eau au niveau des récifs coralliens dans les mêmes proportions. La survie des récifs de coraux et toute la vie qui s'y trouve serait ainsi menacée.

## Chapitre 6 [p. 87 du manuel]

### ⑤ L'ORGANISATION D'UN SERPENT

*Extraire et mettre en relation des informations, réaliser un schéma, raisonner.*

#### Réponses attendues :

1. Voir schéma sur le **site Internet du manuel**.

2. Le crotale présente une polarité antéro-postérieure (marquée en particulier par la succession tête, tronc, queue) et une polarité dorso-ventrale (marquée par la disposition colonne vertébrale-tube digestif par exemple). La symétrie bilatérale apparaît nettement dans le squelette, même si elle est légèrement altérée dans l'organisation interne (inégal développement des poumons droit et gauche). Il y a présence d'un crâne

et d'une colonne vertébrale formée de vertèbres. Tous ces caractères sont communs à l'ensemble des vertébrés.

3. Une différence importante entre serpents et lézards est que les serpents, comme le crotale, n'ont pas de membres pairs. Étant de proches parents des lézards, les serpents sont des tétrapodes. Lézards et serpents ont donc un ancêtre commun pourvu de membres. On peut proposer qu'au cours de l'évolution, une innovation évolutive consistant en la disparition des membres est intervenue dans la branche conduisant aux serpents. Le déplacement par reptation de ces animaux est associé à cette innovation évolutive.

### ③ LES MÉSOZAÏQUES, DES ANIMAUX FOSSILES

*Extraire et mettre en relation des informations.*

#### Réponses attendues :

1. L'ensemble du squelette du mésozaïque présente une polarité antéro-postérieure et dorso-ventrale ainsi qu'une symétrie bilatérale. Le squelette est constitué d'un crâne situé à l'avant, d'une colonne vertébrale formée de vertèbres et de deux paires de membres, antérieurs et postérieurs, comportant trois segments chacun et pourvus de doigts. Le squelette de chaque membre est relié à une ceinture osseuse.

2. Le squelette a été trouvé dans des sédiments littoraux ou marins, ce qui suggère que les mésozaïques peuplaient ce type de milieu. La forme effilée, hydrodynamique, du crâne et de tout le corps, ainsi que les membres postérieurs en forme de rame pouvant servir de nageoires, confirmeraient l'hypothèse d'animaux aquatiques.

3. Les caractères du squelette des mésozaïques sont les mêmes que ceux des vertébrés (crâne et colonne vertébrale) tétrapodes (deux paires de membres pourvus de doigts). Les mésozaïques seraient donc des parents des tétrapodes actuels.

## Chapitre 7 [p. 99 du manuel]

### ⑤ LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DES GUÉPARDS D'AFRIQUE

*Exprimer et exploiter des résultats.* Cet exercice illustre directement les effets de la dérive génétique sur les populations de faible effectif, en lien avec l'unité 1.

#### Réponses attendues :

1. Comme les greffes de peau entre individus n'entraînent aucun rejet, on en déduit que les guépards actuels sont génétiquement très proches. La diversité allélique au sein des populations est donc très faible.

2. L'effectif des populations de guépards est aujourd'hui très faible (quelques milliers d'individus), ce qui renforce les effets de la dérive génétique. Sous l'action de la dérive, de nombreux allèles disparaissent au cours des générations.

### ⑥ POLLUTION DE L'AIR ET SÉLECTION NATURELLE

*Mettre en relation des informations et raisonner.* Cet exercice permet de mettre en jeu toutes les composantes du raisonne-

ment sélectif : variation génétique individuelle / changement des caractéristiques du milieu / transformation adaptative d'une population.

**Réponses attendues :**

1. La forme sombre est mieux camouflée aux yeux des oiseaux lorsque les troncs sont sombres également, elle est donc davantage adaptée à un environnement « pollué ». La forme claire, au contraire, est moins visible lorsque les troncs ne sont pas noircis par la pollution.
2. La forme claire, d'abord très majoritaire, voit sa fréquence diminuer drastiquement de 1848 à 1900 pour ne plus constituer que 2 % seulement des individus. De 1960 à 1975, elle augmente à nouveau et atteint 18 % en 1975. La forme sombre suit une évolution symétriquement inverse.
3. Deux événements se sont succédé conduisant au changement de couleur des populations de géomètres. À partir de 1848, l'industrialisation a conduit à une pollution importante des troncs, ce qui a favorisé la forme sombre du papillon. Par sélection naturelle, les allèles responsables de cette coloration mélanique sont donc devenus de plus en plus fréquent dans les populations au cours des générations. À partir de 1960, du fait d'un recul de la pollution, on constate une augmentation de la forme claire, qui à nouveau se montre mieux adaptée aux environnements les moins pollués.

**7 LES MOUSTIQUES DU MÉTRO DE LONDRES**

*Mobiliser ses connaissances et raisonner.* Cet exercice montre un cas simple de spéciation, sous l'action combinée de la dérive et de la sélection. L'isolement écologique du nouveau milieu et la rapidité de reproduction du moustique permettent de montrer que la formation d'espèces nouvelles peut se produire relativement rapidement.

**Réponses attendues :**

1. Les moustiques du métro de Londres ne peuvent se reproduire avec ceux de la surface, ils forment donc bien une espèce à part entière.
2. On peut penser qu'en 1868, une population de faible effectif a colonisé les couloirs du métro. Par dérive génétique, elle s'est alors génétiquement transformée par rapport à la population d'origine. Simultanément, les nouvelles conditions de vie ont dû favoriser certaines formes au détriment d'autres : la sélection naturelle a également conduit à la transformation génétique de ces moustiques jusqu'à conduire à la formation d'une nouvelle espèce.  
On pourra préciser que, comme les couloirs du métro forment un écosystème presque totalement isolé de l'extérieur, les

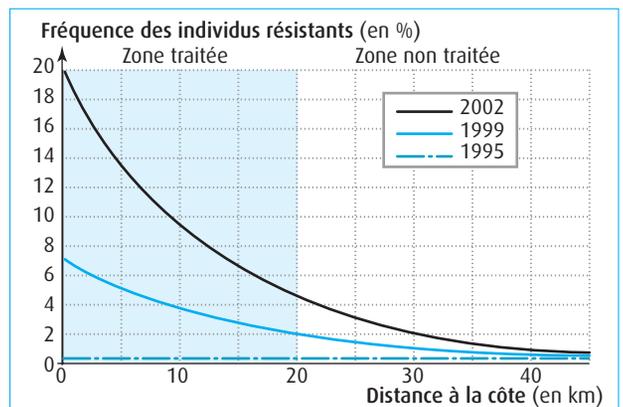
échanges génétiques entre les moustiques du métro et ceux de la surface ont ainsi été très faibles : ceci a accéléré la séparation génétique des deux populations.

**Exercice de méthode**

[p. 101 du manuel]

**Réponses attendues :**

1. En 1995, la résistance des moustiques à l'insecticide utilisé est très faible (0,5), mais n'est pas nulle. En 1999, cette résistance a fortement augmenté, surtout dans la zone traitée. Cette évolution peut s'expliquer par le mécanisme de sélection naturelle opéré par l'épandage d'insecticide : un allèle responsable de la résistance confère dans ces conditions de vie un avantage décisif aux individus qui le portent : ils ne meurent pas et, en se reproduisant, transmettent cette résistance à leur descendance. La population de moustique est dès lors plus résistante au fil des années.
2. A priori, la population de moustique proche de la côte devrait développer seule une résistance à l'insecticide utilisé et la population vivant dans la zone non traitée ne devrait montrer qu'une résistance très faible. Mais les moustiques peuvent se déplacer et se reproduire entre individus de ces deux populations différentes. Des individus résistants de la zone traitée se reproduisant dans la zone non traitée peuvent alors transmettre à leur descendance cette résistance. À l'inverse, des individus non résistants de la zone non traitée transmettront la sensibilité à l'insecticide dans la zone côtière. Ce mélange des deux populations explique que la résistance ne s'observe pas seulement dans la zone traitée.
3. L'augmentation constatée de la résistance des moustiques au fil des années rend le traitement moins efficace, d'autant plus que le traitement accentue lui-même le développement de cette résistance. Les pouvoirs publics, par souci d'efficacité et d'économie, auraient intérêt à trouver d'autres types d'insecticide.



# THÈME 2. ENJEUX PLANÉTAIRES CONTEMPORAINS : ÉNERGIE, SOL

## CHAPITRE 1

# De la lumière solaire à la matière organique : la photosynthèse

## UNITÉ 1 L'utilisation de la lumière solaire par les végétaux verts

[pp. 110-111 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique [...]. »	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exploiter des résultats expérimentaux (doc. 1 et 3).</li><li>• Extraire des informations (doc. 2).</li><li>• Communiquer dans un langage écrit scientifiquement approprié (activités).</li></ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité permet de débiter le chapitre par une **approche expérimentale**. Une démarche scientifique pourra y être pratiquée en suivant un protocole simple (doc. 1) et une observation microscopique (doc. 3).

– Ce chapitre est en lien avec les **chapitres 2 et 3 du thème 1**, où sont abordés les éléments chimiques et les molécules du vivant. Il pose également les bases de la suite du thème 2, puisqu'une fraction de la matière organique produite par la photosynthèse peut être fossilisée et utilisée par l'Homme comme combustible fossile (**chapitre 2 du thème 2**).

– Le bilan de la photosynthèse est établi partiellement : conformément au BO, le dioxygène n'est pas évoqué et les activités de l'unité 2 ne concernent que le dioxyde de carbone.

– Les élèves ont au collège acquis la notion de matière minérale et de matière organique, que l'on pourra remobiliser en collaboration avec le professeur de **physique-chimie** (cf. programme de la classe de 2<sup>e</sup>).

– Dans l'expérience réalisée sur le pélagonium (doc. 1), on placera les caches à la séance précédente et les éclairera par une lampe de 60 à 100 W placée à 20 cm des feuilles. L'alcool utilisé (90° ou 95°) peut être manipulé par les élèves en binôme, en utilisant un tube à refroidissement. On se référera à l'ouvrage suivant : Roger Prat, *Expérimentation en biologie et physiologie végétales*, Hermann (2007).

– La mise en évidence de la matière organique se fonde dans tout le chapitre sur la coloration de l'amidon (doc. 2) par le lugol (également qualifié d'eau iodée ou réactif iodo-ioduré).

– On montre que la lumière solaire est la source énergétique nécessaire à la réaction de photosynthèse. Cette notion sera reprise dans le chapitre 3 quand on abordera l'énergie des combustibles fossiles.

### Exploitation des documents par les activités

① **DOC. 1 ET 2** (*Exploiter des résultats expérimentaux*). Après une nuit à l'obscurité, la feuille prend une coloration claire au lugol : elle ne contient pas d'amidon (c'est le témoin ; doc.1) Après 24 heures d'éclairage, la partie qui était sous le cache a la même couleur que la feuille placée à l'obscurité. En revanche, le reste de la feuille est sombre : il contient de l'amidon (doc. 1). L'amidon, une molécule organique (doc. 2), est donc fabriqué dans les parties éclairées de la feuille. On conclut que la lumière est indispensable à la synthèse de matière organique.

② **DOC. 3** (*Extraire des informations d'un texte et d'une photographie*). La chlorophylle est une molécule colorée capable de capter l'énergie véhiculée par la lumière solaire. Elle permet aux organismes chlorophylliens d'utiliser l'énergie lumineuse pour réaliser des transformations chimiques de leur métabolisme.

③ **DOC. 3 ET 4** (*Mettre en relation des informations afin de répondre à un problème*). Le doc. 3 montre que l'amidon synthétisé à la lumière est localisé dans les chloroplastes. Le mutant « cristal » de l'arabette des dames ne possède pas de chlorophylle dans ses chloroplastes. Or ces derniers ne contiennent pas d'amidon après 24 heures d'éclairage. La chlorophylle est donc indispensable à la production de matière organique à la lumière, production qui se déroule dans les chloroplastes.

④ **EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifiquement approprié*). La matière organique est synthétisée au cours de la photosynthèse dans les chloroplastes des végétaux verts, qui contiennent de la chlorophylle. Cette transformation chimique n'est réalisée qu'en présence de lumière et de chlorophylle.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploiter des résultats expérimentaux (<b>doc. 1 à 3</b>).</li> <li>• Raisonner à partir d'un graphe (<b>doc. 1 et 4</b>).</li> <li>• S'informer et raisonner à partir d'un tableau (<b>doc. 4</b>).</li> <li>• Établir, à l'aide d'arguments expérimentaux, le bilan de la photosynthèse (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Dans le prolongement de l'unité 1, cette unité met en évidence certains réactifs et produits de la photosynthèse.

– L'absorption du CO<sub>2</sub> est mise en évidence dans le **doc. 1**, à l'aide d'un dispositif ExAO. Elle est ici réalisée sur des algues unicellulaires aquatiques: les chlorelles. Il faut compter 30 minutes pour enregistrer des résultats significatifs. Il est normal que, lorsqu'on place les cellules à l'obscurité après la phase d'éclairement, la concentration en CO<sub>2</sub> continue de diminuer pendant quelque temps. On notera que le programme ne fait pas état du dioxygène rejeté. Toutefois, en fonction des acquis du collège relatifs à la respiration (**classe de 5<sup>e</sup>**), il est possible que les élèves évoquent le dioxygène.

– La nécessité de l'absorption du CO<sub>2</sub> pour la production de matière organique à la lumière est mise en évidence grâce au **doc. 2**. Les pastilles de potasse peuvent être conservées dans des « balluchons » réalisés avec des filets. De l'eau gazeuse peut être utilisée pour l'eau enrichie en CO<sub>2</sub>. Les expériences de marquage radioactif, qui démontrent formellement l'incorporation du carbone minéral du CO<sub>2</sub> dans la matière organique produite par la photosynthèse, sont difficiles d'accès pour les élèves de seconde. Elles sont toutefois présentées dans l'**exercice 5** p. 119. Des feuilles de lantana ont été utilisées mais des feuilles de coleus peuvent aussi convenir. La décoloration peut durer de 2 à 15 minutes en fonction de la nature de la feuille.

– Le rôle des sels minéraux, dont le caractère indispensable pour les végétaux a été mis en évidence au collège (**classe de 6<sup>e</sup>**), est abordé **doc. 3 à 5**. La référence aux engrais fait le lien avec les notions du programme relatives aux besoins alimentaires de l'humanité (**chapitre 5 du thème 2**), thème qui se retrouvera en classe de 1<sup>re</sup> S.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Raisonner à partir d'un graphe*). D'après le doc. 1, on observe qu'à la lumière, la concentration de CO<sub>2</sub> diminue dans l'enceinte. On en déduit donc que les chlorelles absorbent le CO<sub>2</sub> à la lumière. D'après le doc. 2, on observe que, sans CO<sub>2</sub> (en présence de potasse), la feuille ne synthé-

tise pas d'amidon tandis qu'elle en fabrique en présence de CO<sub>2</sub>: la photosynthèse, au cours de laquelle la matière organique est produite, consomme donc du CO<sub>2</sub>.

**2 DOC. 2** (*Émettre une hypothèse*). La production de matière organique par les organismes chlorophylliens à la lumière nécessite seulement des molécules minérales. Le CO<sub>2</sub> est une molécule minérale carbonée indispensable à la production d'amidon à la lumière. On peut émettre l'hypothèse que les atomes de carbone de l'amidon synthétisé à la lumière proviennent du CO<sub>2</sub> absorbé par la plante (démonstration réalisée dans l'**exercice 5** p. 119).

**3 DOC. 3 ET 4** (*S'informer et raisonner à partir d'un tableau et d'un graphe*). En l'absence de sels minéraux, dans la culture B, le nombre de cellules d'euglènes augmente peu: il passe de 1,2 à 1,4 millions par mL en 6 jours (**doc. 3**). En revanche, dans une eau minérale (culture A), ce nombre double presque pendant la même période (**doc. 3**). La multiplication des cellules dans le lot A implique une production de matière organique. Au contraire, les euglènes du lot B n'ont pas produit de matière organique. Les sels minéraux sont donc indispensables à la synthèse de matière organique, c'est-à-dire à la photosynthèse. Ce résultat est confirmé par des expériences en plein champ (**doc. 4**), où l'on étudie la biomasse produite en fonction de l'apport d'engrais. Le lot n° 1 constitue la situation témoin. L'ajout de phosphore (P) seul ne change rien. En revanche, en présence d'azote (N), la biomasse double et, en présence de P + N, elle est de 225 kg par m<sup>2</sup> en aout contre 75 pour le témoin.

**4 DOC. 5** (*S'informer et raisonner*). Aucun des éléments minéraux de l'engrais (azote, phosphore, potassium et magnésium) ne se retrouve dans les glucides, qui ne comprennent que du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène (acquis du chapitre 2 du thème 1; voir aussi le rappel doc. 2, p. 110). Ces éléments n'entrent donc pas dans la composition des glucides produits par photosynthèse.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifiquement approprié*). Les molécules nécessaires à la production de matière organique par les organismes chlorophylliens en présence de lumière sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'eau (H<sub>2</sub>O) et les sels minéraux.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Le processus de photosynthèse permet, à l'échelle de la planète, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraire des informations d'une carte (<b>doc. 1 et 4</b>).</li> <li>• S'informer à l'aide d'un tableau (<b>doc. 2</b>).</li> <li>• Comprendre le lien entre phénomène naturel et langage mathématique (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Après avoir identifié certains réactifs et produits de la photosynthèse, cette unité change d'échelle et envisage la photosynthèse à l'échelle de la biosphère. On explique ici que ce phénomène a lieu sur les continents (**doc. 1**) et dans les océans (**doc. 4**), et on pose les bases de la compréhension, dans les chapitres suivants, de l'utilisation de la matière organique produite à la lumière : elle sera utilisée dans la chaîne alimentaire, ou transformée puis stockée sous différentes formes.

– La notion d'énergie est sous-jacente à ce chapitre et aux trois chapitres suivants. Il convient donc de s'assurer que les élèves comprennent que les rayons lumineux sont une source énergétique, en évoquant par exemple leur effet sur la température. La notion d'énergie lumineuse est également abordée avec le **doc. 3** de l'unité 1.

– L'exemple du phytoplancton (**doc. 5**) a été choisi afin d'être mis en relation avec les conditions de formation du pétrole (**chapitre 2 du thème 2**).

– La **page de gauche** traite de la photosynthèse sur les continents. La carte présente la productivité primaire nette annuelle (**doc. 1**). Différents écosystèmes sont définis, en lien avec l'enseignement de géographie (**doc. 2**). Le **doc. 3** permet de réaliser un calcul simple.

– La **page de droite** traite de la photosynthèse dans les océans, le domaine lacustre n'étant pas abordé ici. Les inégalités de productivité primaire sont mises en évidence (**doc. 4**). Elles sont explicables par des causes liées à l'activité photosynthétique (la présence de sels minéraux). L'**exercice p. 118** constitue un prolongement de cette unité.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 5** (*Mettre en relation des informations en vue de répondre à un problème*). Sur les continents, les zones de forte productivité primaire sont celles colorées en vert foncé sur la carte : on les trouve majoritairement en zone équatoriale et tropicale (forêts tropicales). On peut supposer qu'une pluviométrie importante et un

fort ensoleillement expliquent cette répartition, car l'eau et l'énergie lumineuse sont indispensables à la photosynthèse. Dans les océans, les zones figurées en orange et en rouge sont celles à plus forte productivité. On les trouve en bordure des continents, en particulier à l'embouchure des fleuves et au niveau des zones d'upwelling. On peut supposer que les apports de sels minéraux dans ces régions sont responsables de cette répartition. Le phytoplancton peut ainsi grandir et se multiplier.

**2 DOC. 2** (*Réaliser un calcul simple*). Avec une productivité primaire de  $18 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ , il faut  $450/18 = 25$  ans pour reconstituer la biomasse de la forêt tropicale. De même, il faut 24 ans pour reconstituer la biomasse d'une forêt tempérée. En revanche, un peu plus de 4 ans sont nécessaires pour la toundra et 10 ans pour le désert. La biomasse d'un écosystème type toundra ou désert est plus faible que celle d'une forêt, mais elle se renouvelle beaucoup plus vite.

**3 DOC. 3** (*Réaliser un calcul simple*). La productivité primaire peut ici être assimilée à la masse de carbone contenue dans une récolte annuelle. Elle correspond donc au produit de la teneur massique de carbone par la masse totale de matière sèche récoltée, soit :  $15,9 \times 0,58 = 9,2 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ .

**4 DOC. 1 À 4** (*Interpréter des documents*). Sur les continents et dans les océans, les organismes chlorophylliens fabriquent de la matière organique par photosynthèse, en utilisant de l'énergie des rayons solaires et des molécules minérales (eau, dioxyde de carbone et sels minéraux). Ils sont les premiers maillons des chaînes alimentaires de la biosphère : la photosynthèse est donc responsable de l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer sous la forme d'un texte*). À l'échelle de la planète entière, l'énergie de la lumière solaire, le dioxyde de carbone, l'eau et les sels minéraux permettent, grâce à la photosynthèse, la fabrication de matière organique. Celle-ci accroît la biomasse des organismes chlorophylliens qui sont à la base des chaînes alimentaires : au sein de la biosphère, la photosynthèse permet donc l'augmentation de la biomasse totale terrestre et aquatique. Elle est responsable de l'entrée de matière minérale et d'énergie solaire dans la biosphère.

**UNITÉ 1** Les conditions de formation du charbon

[pp. 122-123 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repérer les indices d'une origine biologique d'un combustible fossile: le charbon (<b>doc. 2 et 3</b>).</li> <li>• Extraire et exploiter des informations pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de charbon (<b>doc. 1 à 4</b>).</li> <li>• Pratiquer une démarche scientifique: raisonner avec rigueur (<b>doc. 4 à 6</b>).</li> <li>• Communiquer dans un langage scientifique approprié: écrit (<b>activité 5</b>).</li> </ul>

**Conseils et suggestions**

- La **page d'ouverture du chapitre** peut être utilisée pour prendre conscience que les gisements de combustibles fossiles se forment dans des circonstances géologiques bien particulières.
- Les élèves, au collège, ont vu que les combustibles fossiles se forment à partir de matière organique qui échappe à l'action des décomposeurs, que cette formation demande des millions d'années et qu'ils ne sont pas renouvelables à l'échelle du temps humain (**classe de 3<sup>e</sup>**).
- Les élèves doivent étudier soit le charbon (unité 1), soit le pétrole (unité 2). Ce choix appartient au professeur en fonction notamment des exemples locaux.
- La **page gauche** applique une démarche d'investigation en partant du document présentant un gisement de charbon. Les veines de charbon (**doc. 1**) montrent que la formation du charbon est périodique car soumis à des circonstances géologiques bien particulières. L'origine biologique du charbon est attestée par les **doc. 2 et 3** et expliquée par le **doc. 4**.
- La **page droite** de l'unité permet de faire le parallèle entre la reconstitution du milieu de formation du gisement de Blanzly, il y a 300 Ma (**doc. 5**), et une accumulation actuelle de grandes quantités de matière organique végétale dans un lac (**doc. 6**). L'élève peut alors élaborer un scénario de formation des veines de charbon vues **doc. 1**.

**Exploitation des documents par les activités**

- 1 DOC. 1.** (*Communiquer dans un langage scientifique approprié pour réaliser un schéma*). Voir sur le **site Internet du manuel**.
- 2 DOC. 2 ET 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). L'origine biologique du charbon est attestée la

présence de fossiles de végétaux dans les roches sédimentaires qui encadrent les veines de charbon (**doc. 2**) et par la présence de matière organique d'origine végétale dans le charbon lui-même (**doc. 3**).

**3 DOC. 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). Le charbon est pauvre en molécules volatiles (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) et riche en carbone. Les trois conditions qui expliquent sa formation sont: une forte productivité primaire, un milieu aquatique pauvre en dioxygène, une augmentation lente de la température liée à un enfouissement progressif des débris de végétaux.

**4 DOC. 5 ET 6** (*Pratiquer une démarche scientifique*). Dans un bassin sédimentaire, certains événements peuvent conduire à une accumulation répétitive, sous une couche d'eau peu profonde, de nombreux débris végétaux recouverts par des sédiments détritiques. Dans ces conditions, une fraction des débris végétaux peut échapper à l'action des décomposeurs. L'enfoncement du bassin (subsidence) induit une augmentation de température et la formation des veines de charbon. Les sédiments détritiques (voir le doc. 6) forment, eux, les roches sédimentaires qui encadrent la veine charbon.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifique approprié*). Notions attendues: bassin sédimentaire subsident recouvert d'une étendue d'eau peu profonde; accumulation d'une grande épaisseur de débris végétaux; évolution lente d'une fraction de matière organique en charbon en l'absence de dioxygène, en présence d'une augmentation lente de la température (liée à l'enfouissement progressif) et sous l'action de bactéries.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repérer les indices d'une origine biologique d'un combustible fossile : le pétrole (<b>doc. 4 à 6</b>).</li> <li>• Extraire et exploiter des informations pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de pétrole (<b>doc. 1 à 6</b>).</li> <li>• Pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur (<b>doc. 1 à 3 et 4 à 6</b>).</li> <li>• Communiquer à l'écrit dans un langage scientifique approprié (<b>activité 4</b>).</li> <li>• Manipuler, modéliser pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de pétrole (<b>atelier p. 132</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– **Une démarche d'investigation** est proposée en partant de l'observation du terrain (geyser de pétrole [**doc. 1**], roche réservoir [**doc. 2**] et roche mère du pétrole [**doc. 3**]), afin de comprendre les conditions nécessaires à la formation et au piégeage du pétrole.

– **La page de gauche** de l'unité permet, à partir de l'étude du gisement de Wessex, de découvrir les caractéristiques du pétrole et de la roche réservoir (**doc. 2**). Un schéma illustre les différents éléments d'un piège pétrolier (**doc. 3**).

– **La page de droite** de l'unité permet, à partir de l'étude du gisement de Wessex, de comprendre comment se forment la roche mère du pétrole et les hydrocarbures, et pourquoi le pétrole migre vers la surface pour être, éventuellement, stocké dans un piège pétrolier (**doc. 4 à 6**).

– **L'atelier « Le coin du labo »** (p. 132) propose un dispositif expérimental pour modéliser le piégeage du pétrole, qui permet de comprendre les conditions géologiques nécessaires au piégeage des hydrocarbures.

– Dans le prolongement de cette unité, il est possible d'aider les élèves à choisir un parcours de formation à partir d'une enquête sur les métiers associés à l'exploitation du pétrole : voir **l'atelier** p. 132. Voir également les **Métiers** en lien avec le thème 2 pp. 186-187).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations et pratiquer une démarche scientifique*). Le pétrole est composé de hydrocarbures liquides et gazeux (**doc. 1**). Le **doc. 2** montre que la roche réservoir est poreuse et qu'elle est donc susceptible de stocker ces hydrocarbures. Elle s'est formée en milieu océanique car elle contient des coquilles calcaires d'organismes marins (**doc. 2**). Le **doc. 3** indique la place de la roche réservoir dans un piège pétrolier.

**2 DOC. 3 À 5** (*Recenser, extraire et organiser des informations et pratiquer une démarche scientifique*). Notions attendues : environnement océanique de haute productivité ; une fraction de la matière organique planctonique morte échappe à la dégradation, dans un milieu pauvre en dioxygène ; des sédiments marins riches en matière organique se déposent au fond et évoluent en roche mère du pétrole ; la matière organique évolue, elle, en hydrocarbures, en présence d'une augmentation de la température (liée à l'enfouissement) et sous l'action de bactéries ; les hydrocarbures liquides moins denses que la roche mère, migrent vers la surface ; ils peuvent s'accumuler dans une roche réservoir si cette dernière est recouverte de roches imperméables (voir aussi **atelier** p. 132).

**3 DOC. 3 À 6** (*Recenser, extraire et organiser des informations et pratiquer une démarche scientifique*). Notions attendues : plateau continental subsident ; forte productivité primaire et dépôt d'une couche de sédiments riches en matière organique dans un milieu pauvre en dioxygène ; une fraction de cette matière organique échappe à l'action des décomposeurs ; l'enfoncement (subsidence) permet l'accumulation d'une forte épaisseur de sédiments riches en matière organique et une augmentation de température qui est indispensable à la transformation de la matière organique en pétrole ; le pétrole migre vers la surface ; il s'accumule dans la roche réservoir d'où il ne peut s'échapper car elle est recouverte de roches imperméables. Estimation du temps nécessaire à la formation du gisement de Wessex : la roche mère s'est formée entre -200 et -190 millions d'années, et la roche imperméable qui recouvre la roche magasin s'est formée entre -165 et -161 millions d'années ; le gisement de Wessex s'est donc formé en 40 millions d'années environ.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifique approprié*). Notions attendues : synthèse des notions des activités 2 et 3.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La connaissance de ces mécanismes [de formation des gisements d'hydrocarbures] permet de découvrir les gisements et de les exploiter par des méthodes adaptées. Cette exploitation a des implications économiques et environnementales. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations (<b>doc. 1 à 7</b>).</li> <li>• Pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur (<b>doc. 5 et 6</b>).</li> <li>• Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement (<b>doc. 3 et 4</b>).</li> <li>• Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société (<b>doc. 2 à 6</b>).</li> <li>• Communiquer à l'écrit dans un langage scientifique approprié (<b>activité 6</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité traite des implications de l'exploitation des combustibles fossiles, surtout à partir de l'exemple du pétrole, cela en tenant compte du fait qu'en classe de 1<sup>re</sup> S, l'étude des combustibles fossiles reprendra les acquis de la classe de seconde « en centrant cette fois-ci l'attention sur les hydrocarbures ». C'est également pour cette raison qu'il est proposé un **atelier** (p. 132) qui permet de modéliser l'exploitation d'un gisement d'hydrocarbures.

– L'**histoire des arts** est mise en relation avec les implications humaines de l'exploitation du charbon, à partir d'un extrait de *Germinal* (Émile Zola) et d'une représentation picturale de la catastrophe de Courrières en 1906 (**doc. 1**). Cette catastrophe est un des accidents miniers les plus meurtriers (1099 morts), dû à un coup de grisou suivi d'une inflammation des poussières de charbon (« coup de poussières ») qui a dévasté plus de 100 kilomètres de galeries.

– L'**éducation citoyenne des élèves** est réalisée par la prise de conscience de leur responsabilité face à l'environnement (**page gauche de l'unité**) et aux grands enjeux de la société (**page droite de l'unité**).

– La **page gauche** de l'unité permet, à partir de l'étude des **doc. 1 et 2**, de prendre conscience des conditions de travail qui régnaient dans les mines à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et des risques qu'encourent encore les mineurs aujourd'hui. Les **doc. 3 et 4** montrent des exemples de conséquences pour l'environnement de l'extraction des combustibles fossiles.

– La **page droite** de l'unité montre, à partir de l'étude des **doc. 5 et 6**, que les énergies fossiles ne sont pas une ressource d'avenir. Les **doc. 4 et 7** mettent l'accent sur la découverte et l'exploitation de ressources actuellement peu ou pas exploitées, mais qui pourraient l'être dans un avenir proche face à l'épuisement de ressources conventionnelles.

– Avec les acquis de l'unité 2, le **doc. 7** permet en outre d'établir, comme le demande le programme, un lien entre la répartition des gisements de combustibles fossiles et les conditions de transformation et de conservation de la matière organique.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 2** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). La rudesse des conditions de travail des mineurs de charbon est palpable dans le texte d'Émile Zola : température atteignant 35 °C ; air qui circule difficilement ; sensation d'étouffement ; grande humidité en plus de la chaleur. En outre, de très nombreux mineurs ont péri, en particulier à cause des « coups de grisou ».

**2 DOC. 3 ET 4** (*Recenser, extraire et organiser des informations et être conscient de sa responsabilité face à l'environnement*). Des paysages entiers sont abimés et une forte pollution des cours d'eau et de l'air peut être observée.

**3 DOC. 5** (*Recenser, extraire et organiser des informations et pratiquer une démarche scientifique*). Sur la base d'une consommation annuelle de 25 milliards de barils, les réserves mondiales selon les estimations techniques sont d'environ 30 ans et, selon les estimations officielles, d'une cinquantaine d'années. Les réserves de pétrole seront épuisées dans un avenir proche.

**4 DOC. 6** (*Recenser, extraire et organiser des informations et pratiquer une démarche scientifique*). Le pétrole n'est pas une ressource énergétique d'avenir : depuis 1980 la production dépasse les découvertes. Fatalement, les réserves de pétrole vont donc s'épuiser. L'activité précédente montre que cette échéance est relativement proche.

**5 DOC. 7** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). La plupart des ressources pétrolières de l'Arctique se forment sur un plateau continental, ce que l'on peut mettre en lien avec des conditions géologiques particulières propices à la conservation et la transformation de la matière organique d'origine planctonique telles qu'on les a vues dans l'unité 2.

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer dans un langage scientifique approprié et manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société*). Notions attendues : résumer les implications humaines (conditions de travail et mortalité), environnementales (pollutions diverses) et économiques (ressources limitées) liées à l'extraction des combustibles fossiles.

## UNITÉ 1 L'énergie des combustibles fossiles

[pp. 136-137 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes de mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extraire et exploiter des informations pour comprendre l'origine de l'énergie des combustibles fossiles (<b>doc. 1 et 2</b>).</li> <li>Extraire et exploiter des informations pour repérer dans une archive géologique simple les indices d'une variation d'origine humaine de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique (<b>doc. 3 à 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- Après l'étude de la formation des combustibles fossiles dans le chapitre 2, ce chapitre permet d'aborder les raisons et les conséquences de leur utilisation par l'Homme. Les combustibles fossiles contiennent de l'énergie concentrée, mais leur combustion libère du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, ce qui n'est pas sans conséquences sur le fonctionnement de la planète.
- La **page de gauche** met en évidence la concentration d'énergie et explique son origine. La **page de droite** aborde les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère lié aux activités humaines.
- La comparaison des performances de l'Airbus A380 et de l'avion solaire *Solar Impulse* (**doc. 1**) illustre de façon visuelle le caractère compact des énergies fossiles.
- Dans le **doc. 2**, on suit le devenir de l'énergie et du carbone, depuis leur capture par les organismes chlorophylliens jusqu'à l'utilisation par l'Homme. La matière organique formée en quelques heures par la photosynthèse renferme du carbone sous forme de molécules organiques. Ces molécules carbonées peuvent se transformer en combustibles fossiles (voir chapitre précédent) : un litre de pétrole concentre alors une matière et une énergie issues de plus de 20 tonnes de matière organique végétale. L'utilisation par l'Homme des combustibles fossiles relâche instantanément dans l'atmosphère le CO<sub>2</sub> qui y avait été lentement prélevé par photosynthèse et qui était piégé dans la matière organique depuis longtemps.
- Parallèlement à l'augmentation de la consommation d'énergies fossiles depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (**doc. 3**), la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> augmente de manière exponentielle (**doc. 5**), alors qu'elle était stable depuis l'an 900.
- Le **doc. 4** explique comment les scientifiques reconstituent les variations de la composition de l'atmosphère dans les siècles passés.
- Dans le **doc. 5**, le zoom montre aussi l'aspect cyclique et saisonnier des variations du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ce point est développé dans l'**exercice 7** p.145.

### Exploitation des documents par les activités

- DOC. 1 ET 2** (*S'informer et mettre en relation des documents*). La concentration de l'énergie des combustibles fossiles est mise en évidence par la comparaison des caractéristiques et performances des deux avions (**doc. 1**). L'exploitation du **doc. 2** explique le caractère concentré de l'énergie des combustibles fossiles et permet de comprendre qu'elle correspond à une énergie solaire du passé.
- DOC. 2** (*S'informer pour synthétiser un processus complexe*). Le carbone du CO<sub>2</sub> atmosphérique est intégré dans des molécules organiques végétales, qui sont fossilisées dans la matière organique des combustibles fossiles. Leur utilisation par l'Homme libère ce carbone dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>.
- DOC. 2** (*Être capable d'esprit critique*). Les combustibles fossiles mettent des millions d'années à se former et leurs réserves sont limitées (voir chapitre 2 du thème 2, p. 127) : ils ne sont donc pas renouvelables à l'échelle des temps humains.
- DOC. 3 ET 5** (*S'informer et mettre en relation des graphiques*). L'augmentation de la consommation de combustibles fossiles pour les activités humaines et celle de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique sont parallèles. L'utilisation des combustibles fossiles provoque un rejet de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. On peut donc supposer que l'Homme est à l'origine de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère depuis près de 200 ans.
- EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) concentrent de l'énergie au cours de leur formation. L'Homme utilise abondamment cette source d'énergie concentrée depuis près de 200 ans, ce qui se traduit par une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations d'un cycle du carbone simplifié mais quantifié (<b>doc. 1</b>).</li> <li>• Faire preuve d'esprit critique pour comprendre en quoi l'utilisation des combustibles fossiles constitue un enjeu planétaire (<b>doc. 1 à 5</b>).</li> <li>• Extraire des informations pour comprendre l'action de l'Homme sur le cycle du carbone (<b>doc. 3 à 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– L'étude des conséquences de la combustion du pétrole et du charbon par les activités humaines est complexe ; pour s'y retrouver, il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des acteurs planétaires qui utilisent du carbone, en le produisant ou en le consommant, d'où l'étude du cycle du carbone.

– Dans le **doc. 1**, on visualise un cycle du carbone tel qu'il peut fonctionner en l'absence d'intervention humaine : dans ce cycle dit naturel, on voit que l'atmosphère est un réservoir fondamental du point de vue fonctionnel, mais quantitativement très réduit en comparaison de ceux de la lithosphère ou de l'hydrosphère.

– Les échanges entre réservoirs sont quantifiés (avec toute la difficulté de donner des chiffres précis pour ces phénomènes complexes), pour mettre en évidence l'équilibre global de ce cycle naturel du carbone : il y a autant de carbone qui entre et sort de l'atmosphère chaque année.

– On voit également que, dans les réservoirs de la lithosphère, le carbone est stocké pour très longtemps, du fait des très faibles flux de carbone impliqués, alors qu'inversement, les réservoirs de la biosphère et de l'atmosphère sont l'objet d'un renouvellement très rapide de leur carbone.

– Dans le **doc. 2**, on précise les différentes formes de stockage et d'échange du carbone dans ce cycle. Pour pouvoir effectuer des comparaisons dans cet ensemble complexe, il est nécessaire de rapporter la masse des différentes molécules carbonées à des masses de carbone.

– La **page de droite** de l'unité aborde la problématique de l'impact de l'Homme sur le cycle du carbone. Dans le **doc. 3**, les activités humaines liées à l'industrie ou à la déforestation se traduisent par une augmentation du flux annuel de carbone vers l'atmosphère : ce sont les régions **sources de carbone** (voir aussi **exercice 6** p.145 avec l'exemple des cimenteries). Inversement, les régions **puits de carbone** correspondent aux zones où la photosynthèse est active (forêts tropicales africaine ; voir aussi **exercice 7** p.145) et à certaines zones océaniques (où dissolution du CO<sub>2</sub> et photosynthèse s'additionnent) : le flux de carbone vers l'atmosphère y est négatif, traduisant une absorption globale.

– Dans le **doc. 4**, on introduit un des mécanismes de consommation du carbone atmosphérique : la formation du squelette calcaire des algues du phytoplancton (la photo représente un coccolithophoridé) : le CO<sub>2</sub> dissous dans les océans permet la formation de CaCO<sub>3</sub>, ce qui correspond à un stockage du carbone.

– Le graphique du **doc. 5** montre à la fois l'augmentation du flux de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère depuis 1850 (voir aussi le **doc. 3**) et la quantité de ce gaz qui s'accumule dans l'atmosphère. La différence entre ces deux courbes correspond au prélèvement de CO<sub>2</sub> par les puits de carbone de la planète.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Recenser, extraire et organiser des informations à partir d'un schéma — Faire preuve d'un esprit critique*). Les réservoirs géologiques et de l'hydrosphère sont bien plus grands que celui de l'atmosphère. Les flux de carbone sont en revanche très intenses de ou vers l'atmosphère, et très réduits de ou vers la lithosphère. Le cycle du carbone existe (renouvellement du carbone et équilibre des échanges), mais il n'est pas homogène.

**2 DOC. 1, 3, 4 ET 5** (*Recenser, extraire et organiser des informations à partir d'un schéma — Formuler des hypothèses*). Les puits de carbone sont les régions riches en végétation et les océans froids et/ou riches en phytoplancton. Les sources de carbone se situent là où les activités humaines sont intenses (forte utilisation des combustibles fossiles).

**3 DOC. 3 À 5** (*Comprendre les effets multiples d'une même cause*). Les deux courbes étant globalement parallèles, l'augmentation du réservoir atmosphérique est liée aux activités humaines. Mais une partie du CO<sub>2</sub> émis ne se retrouvant pas dans l'atmosphère, on peut penser qu'il a été absorbé dans les puits de carbone.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Le CO<sub>2</sub> issu de l'utilisation des combustibles fossiles se retrouve d'abord dans l'atmosphère ; une partie s'y accumule, mais d'importantes quantités en sortent, absorbées par la photosynthèse ou la dissolution dans l'eau des océans.

# UNITÉ 3 Quelques conséquences de la perturbation du cycle du carbone

[pp. 140-141 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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"><li>• Extraire des informations pour comprendre l'action de l'Homme sur le cycle du carbone (<b>doc. 1 à 3</b>).</li><li>• Faire preuve d'esprit critique pour comprendre en quoi l'utilisation des combustibles fossiles constitue un enjeu planétaire (<b>doc. 1 à 6</b>).</li></ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité montre quelques conséquences des perturbations anthropiques du cycle du carbone. Elle montre également que l'Homme tente d'agir pour en limiter les conséquences environnementales.

– Le **doc. 1** montre que l'eau des océans s'acidifie en liaison avec l'absorption du CO<sub>2</sub> atmosphérique (voir aussi l'**exercice 4** p. 144 et l'**exercice de méthode** p. 159 où l'exploitation d'un modèle analogique est proposé).

– Les **doc. 2 et 3** montrent que l'impact de ce phénomène se fait déjà sentir sur les êtres vivants qui peuplent les océans.

– Les conséquences climatiques de la variation du CO<sub>2</sub> atmosphérique sont évoquées dans les **doc. 4 et 5** au travers du travail du Groupement international d'experts sur le changement climatique (GIEC). Les scénarios du GIEC reposent sur des mécanismes trop complexes pour être détaillés ici. On se contente de dire qu'ils sont plus ou moins économes en énergie, laissent plus ou moins de place aux énergies autres que fossiles et anticipent une croissance démographique et économique plus ou moins forte.

– Deux exemples de réponse positive de nos sociétés face au problème de la perturbation du cycle du carbone sont présentés. Outre les économies d'énergie et le recours aux énergies renouvelables (**doc. 4**), une autre façon de réagir est illustrée **doc. 6**. Cette approche dite de la séquestration du CO<sub>2</sub> n'en est encore qu'au stade expérimental, tant les difficultés techniques sont grandes (voir aussi la photo d'ouverture du chapitre p. 135).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*Recenser, extraire et organiser des informations à partir d'un schéma*). L'absorption du CO<sub>2</sub> atmosphérique par les océans diminue lorsque l'eau se réchauffe et s'acidifie; or les océans s'acidifient de plus en plus à mesure qu'ils absorbent une partie du CO<sub>2</sub> émis par l'Homme et, dans le contexte du réchauffement de la planète, les océans se réchauffent. Le puits de carbone océanique est donc menacé dans certaines régions.

**2 DOC. 2 ET 3** (*Comprendre les effets multiples d'une même cause*). Si l'acidification des océans se poursuit, le

puits de carbone océanique va s'affaiblir et donc la concentration de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère augmentera encore plus. Le réchauffement climatique deviendra encore plus aigu, ce qui réduira encore davantage la capacité des océans à absorber le CO<sub>2</sub>. Il pourrait donc s'enclencher un cercle vicieux qui amplifierait les conséquences des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'Homme. Concernant la biosphère, l'acidification de l'eau des océans va entraîner la dissolution de plus en plus marquée des coquilles et squelettes calcaires des organismes marins: toutes les chaînes alimentaires océaniques seront affectées.

**3 DOC. 4 ET 5** (*Mettre en relation des informations*). Le réchauffement climatique est une autre conséquence de la perturbation du cycle du carbone.

**4 DOC. 4 ET 5** (*Mettre en relation des informations*). Les prévisions du GIEC d'émissions de CO<sub>2</sub> liées aux combustibles fossiles se sont jusqu'à présent révélées malheureusement conformes aux plus pessimistes des scénarios (comparer les mesures réelles au scénario n° 1). Cela laisse présager une augmentation sensible des températures d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Le travail du GIEC met ainsi l'accent sur l'importance des choix de sociétés à venir. À ce titre, il tient lieu d'information et d'avertissement pour les décideurs politiques de la planète.

**5 DOC. 6** (*Faire preuve d'esprit critique*). La séquestration géologique du carbone est difficile à maîtriser et coûteuse; elle ne peut être actuellement envisagée que dans des situations limitées (sur de grosses installations industrielles). En revanche, c'est un moyen de limiter l'augmentation du stock de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et donc de lutter contre le réchauffement climatique

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les perturbations du cycle du carbone par l'Homme se traduisent par une augmentation de la température de la planète avec, entre autres conséquences, un réchauffement des océans. Ce phénomène, associé à l'acidification croissante de l'océan, met en péril le puits de carbone océanique, tout comme les chaînes alimentaires océaniques, dans lesquelles l'Homme prélève sa part pour sa propre alimentation.

## UNITÉ 1 Vents et eau, des sources d'énergie pour l'Homme

[pp. 148-149 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes de mises en œuvre dans l'unité
« Utiliser l'énergie des vents [...] et des barrages hydroélectriques revient à utiliser indirectement l'énergie solaire. Ces ressources sont rapidement renouvelables. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saisir des informations pour comprendre que l'eau et le vent sont des sources d'énergie (doc. 1 à 5).</li> <li>• Analyser des données graphiques (doc. 3).</li> <li>• Effectuer des calculs (doc. 2, 3 et 5) et exploiter des données chiffrées (doc. 2 et 5).</li> <li>• S'informer et raisonner à partir d'un texte littéraire (atelier p. 158).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

- Cette première unité a pour objectif de montrer que les mouvements d'air et d'eau constituent d'autres sources d'énergie que l'Homme peut exploiter et donc de présenter les énergies éolienne et hydroélectrique comme des alternatives énergétiques aux énergies fossiles.
- Chaque page est construite selon la même organisation avec d'abord deux documents (doc. 1 et 4) sur l'histoire des techniques puis des documents (doc. 2, 3 et 5) illustrant, avec des données chiffrées, la conversion de l'énergie cinétique, correspondant au vent d'une part et à l'eau en mouvement d'autre part, en énergie électrique.
- Les doc. 1 et 4 montrent que l'utilisation des énergies éoliennes et hydrauliques n'est pas une nouveauté, contrairement à une idée répandue.
- Les doc. 2 et 3 fournissent des données sur la production électrique d'un champ d'éoliennes d'une part et d'une éolienne domestique d'autre part.
- Le doc. 5 permet de comparer deux usines hydroélectriques : un barrage « type voûte » et une centrale « au fil de l'eau ». La comparaison porte sur la puissance de ces deux installations, dont on fait calculer la valeur par les élèves. Ce calcul, simple, permet de constater que la puissance est proportionnelle au débit d'eau et à la hauteur de la chute d'eau. Il montre ainsi le rôle de la gravité, force qui, bien que non évoquée dans le programme, est à l'origine, avec l'inégale répartition de l'énergie solaire (voir unité 2), de l'énergie hydroélectrique.
- Cette première unité n'a pas pour objectif de montrer que les énergies éolienne et hydroélectrique sont renouvelables. Le caractère renouvelable de ces ressources énergétiques est toutefois un acquis des années antérieures (classe de 3<sup>e</sup>). Il est donc abordé dans les activités pour faciliter la transition avec l'unité 2.

### Exploitation des documents par les activités

- 1 DOC. 1 ET 4 (Saisir des informations).** « L'énergie du vent fait tourner les ailes du moulin. Cette énergie cinétique est ensuite transformée en énergie mécanique. » (doc. 1); « L'énergie de l'eau mettait en mouvement seize roues [...]. Cette énergie cinétique était convertie en énergie mécanique. » (doc. 2). À ce stade, le caractère renouvelable peut-être justifié par l'idée qu'il y aura toujours du vent et de l'eau en mouvement.
- 2 DOC. 3 (Analyser des données graphiques et effectuer des calculs).** Avec un vent de 15 km.h<sup>-1</sup>, l'éolienne produit annuellement 600 kWh soit environ 20,5 % des besoins énergétiques d'un foyer. À 25 km.h<sup>-1</sup>, la production est de 2800 kWh soit près de 96 % des besoins annuels d'un foyer. Pour une augmentation de 10 km.h<sup>-1</sup> (soit 2,8 m.s<sup>-1</sup>), la production d'électricité est multipliée par 4,7.
- 3 DOC. 5 (Effectuer des calculs).** Les puissances calculées sont les suivantes :  $P_{\text{Vouglans}} = 357 \text{ MW}$  ;  $P_{\text{Rhinau}} = 179 \text{ MW}$ . La hauteur de chute d'eau et le débit sont deux paramètres essentiels pour l'implantation d'une centrale hydroélectrique. La hauteur de chute d'eau est près de 8 fois plus importante à Vouglans qu'à Rhinau, alors que le débit d'eau n'est que 4 fois moins important : la puissance totale du barrage de Vouglans est donc plus élevée.
- 4 DOC. 2 ET 5 (Effectuer des calculs et comparer des données chiffrées).** Le champ d'éoliennes de Port-Saint-Louis-du-Rhône peut alimenter 18 000 foyers, le barrage de Vouglans près de 103 000 et la centrale de Rhinau plus de 325 000.
- 5 EN CONCLUSION (Communiquer en rédigeant une synthèse).** Les mouvements d'air et d'eau constituent des sources d'énergies utilisables car l'Homme transforme ces énergies en énergie mécanique puis électrique. Ces énergies sont renouvelables car le vent et les mouvements de l'eau sont des ressources énergétiques inépuisables.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<p>« L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la Terre. 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. »</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations et les mettre en relation pour comprendre l'effet de l'énergie solaire sur la circulation atmosphérique (<b>doc. 1, 3, 4 et atelier p. 158</b>).</li> <li>• Extraire des informations d'un texte scientifique pour comprendre le lien entre énergie solaire et cycle de l'eau (<b>doc. 2</b>).</li> <li>• Construire une argumentation pour montrer l'inégale répartition de la quantité d'énergie solaire reçue selon la latitude et ses conséquences (<b>doc. 4 et 5 et exercice 3 p. 156</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité est scientifiquement très riche puisqu'elle aborde de nombreux phénomènes : l'origine des vents et des courants, le moteur du cycle de l'eau et le chauffage de l'atmosphère.

– L'objectif n'est pas d'expliquer à proprement parler la dynamique externe de la Terre mais bien d'expliquer, comme l'indique l'introduction, le caractère renouvelable des énergies éolienne et hydraulique. De nombreuses manipulations peuvent être proposées (voir par exemple le **doc. 3** ; le **doc. 5** peut aussi être remplacé par un modèle : voir l'**exercice 3 p. 156**).

– Pour l'énergie éolienne, la carte météorologique (**doc. 1**) et le modèle analogique (**doc. 3**) permettent de montrer que les vents se déplacent globalement des zones de haute pression vers les zones de basse pression et que ces différences de pression sont déterminées par des différences de température (modèle). Le **doc. 4** montre que l'énergie solaire est inégalement répartie à la surface de la Terre ce qui détermine des variations latitudinales de températures. Enfin, cette répartition latitudinale de l'énergie solaire est expliquée par la sphéricité de la Terre et la variation de l'énergie reçue par unité de surface selon la latitude (**doc. 5**).

– La force de Coriolis, bien que suggérée par le **doc. 1** n'est pas évoquée dans cette unité (elle n'est pas au programme).

– Pour l'énergie hydraulique, un texte scientifique (**doc. 2**) montre que l'énergie solaire permet à la fois l'évaporation de l'eau et donc le cycle de l'eau, et les transferts de la vapeur d'eau sur les continents via les vents.

– L'origine solaire des mouvements d'air et d'eau est ainsi établie, ce qui justifie le caractère renouvelable de ces ressources énergétiques.

– Le programme soulève le problème de la température de l'air chauffé « par l'intermédiaire du sol ». C'est ce qu'illustre le **doc. 6** qui ne dit rien de la nature du rayonnement réémis, ni de son rôle dans l'effet de serre, aspects qui seront abordés en classe de 1<sup>re</sup> S.

– Ce chapitre développe plus spécifiquement l'explication de la circulation atmosphérique au détriment de la circulation hydrosphérique car l'énergie hydrolienne est une ressource actuellement très peu développée.

## Exploitation des documents par les activités

1 **DOC. 1** (*Lire une carte météorologique*). Les vents se dirigent des zones de haute pression vers les zones de basse pression. On pourra souligner la déviation de cette circulation atmosphérique liée à la rotation de la Terre.

2 **DOC. 1 ET 3** (*Utiliser un modèle analogique et interpréter les résultats de la manipulation*). La fumée a une trajectoire verticale lorsque la bougie est éteinte et la trajectoire est orientée vers la bougie lorsque la bougie est allumée. L'air chauffé par la bougie se dilate et la pression exercée par cet air plus chaud diminue. Il se crée ainsi un gradient de pression à l'origine du déplacement de l'air, matérialisé par le changement de trajectoire de la fumée. Les différences de pression atmosphérique à l'origine des vents sont donc déterminées par des différences de température à la surface du globe.

3 **DOC. 6** (*Saisir des informations*). La Terre est chauffée par le rayonnement solaire incident. L'atmosphère est chauffée par le rayonnement réémis par la surface terrestre en retour.

4 **DOC. 3 À 5** (*Saisir et mettre en relation des informations*). On observe une répartition latitudinale de l'énergie solaire avec un flux de chaleur diminuant de l'équateur aux pôles. Cette variation est due à la sphéricité de la Terre : l'angle d'incidence des rayons solaires diminue de l'équateur aux pôles, donc la surface éclairée pour un faisceau donné augmente et l'énergie reçue par unité de surface diminue.

5 **DOC. 2** (*Saisir des informations*). L'énergie solaire est un moteur du cycle de l'eau (la gravité en est un autre).

6 **EN CONCLUSION** (*Effectuer une synthèse*) Les énergies éolienne et hydraulique sont renouvelables car elles ont pour origine l'énergie solaire, qui est une énergie inépuisable.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effectuer des calculs de pourcentages (<b>doc. 1 et 2</b>).</li> <li>• Analyser des données graphiques (<b>doc. 1, 4, 5 et 7</b>).</li> <li>• Saisir des informations et les confronter pour discuter de la place des énergies renouvelables (<b>doc. 3 à 5</b>).</li> <li>• Construire une argumentation sur les avantages et inconvénients de l'énergie éolienne (<b>doc. 5 à 8</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Après avoir montré en quoi les mouvements d'air et d'eau constituent des ressources énergétiques et expliqué leur caractère renouvelable, il s'agit, dans cette unité, de discuter de la place actuelle et future de ces énergies renouvelables, à l'échelle de la planète.

– La page de gauche permet la comparaison de l'énergie reçue (**doc. 2**) et des besoins croissants de la population mondiale (**doc. 1**). Elle fournit des informations sur la part relative des différentes ressources énergétiques dans le monde (**doc. 3**), ainsi que sur l'évolution relative des différentes formes de production d'électricité en France depuis une quarantaine d'années (**doc. 4**). Ces données montrent que les énergies renouvelables sont encore largement minoritaires.

– Pour discuter de la place future des énergies renouvelables, le choix s'est porté sur l'éolien parce que l'éolien est en pleine expansion en France (et dans le monde), que les données foisonnent sur la question et que le sujet fait actuellement débat, particulièrement en France.

– Il est possible de trouver de nombreuses données sur ce débat (voir en particulier les discussions autour des objectifs du Grenelle de l'environnement). Un travail d'argumentation peut être réalisé avec les élèves afin de montrer comment les connaissances scientifiques permettent d'appréhender rigoureusement la problématique de l'éolien en France et d'en montrer la complexité.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Estimer des pourcentages*). Les valeurs sont évidemment très faibles :  $6.10^{-4}\%$  en 1900 et  $1,3.10^{-2}\%$  en 2008, mais la différence entre ces deux périodes est significative puisque la proportion a été multipliée par plus de 200 en un peu plus d'un siècle.

**2 DOC. 3 ET 4** (*Lire un graphique et confronter des données chiffrées*). La part des énergies renouvelables représente dans le monde actuellement 13% des sources d'énergies utilisées. D'après le **doc. 4**, ce pourcentage est proche de celui que l'on observe en France concernant la

production électrique (précisément 13,23% selon un rapport de l'ADEME daté de 2009).

**3 DOC. 5** (*Analyser des données graphiques*). Selon le scénario «tendance actuelle», la consommation d'énergie en général et d'électricité en particulier va poursuivre sa progression, alors que la production d'électricité d'origine éolienne passera de 5,8 TWh en 2009 à 30 TWh en 2020. Selon le scénario envisagé par le Grenelle de l'environnement, la consommation d'électricité resterait stable, mais la consommation globale d'énergie diminuerait (d'environ 180 Mtep à 160 Mtep), tandis que la production d'électricité éolienne passerait de 5,8 TWh à 60 TWh. L'objectif politique actuel est donc de diminuer la consommation d'énergie et d'augmenter la part relative des énergies renouvelables dans la production d'électricité.

**4 DOC. 5 À 8** (*Confronter des données et développer une argumentation*). Il faudra implanter plus de 5 000 nouvelles éoliennes en France pour atteindre les objectifs du Grenelle en matière de production d'électricité. Ces implantations doivent prendre en compte de nombreux paramètres avec tout d'abord le facteur géographique et la vitesse moyenne des vents (**doc. 6**). Les zones littorales sont les plus propices aux implantations d'éoliennes. On pourra à ce propos évoquer les implantations off shore. L'intermittence du vent (**doc. 7**) reste bien sûr un problème majeur pour la production d'électricité éolienne (voir **exercice 6** p. 157). La discussion peut également porter sur les nuisances liées à l'installation et au fonctionnement des éoliennes (**doc. 8**). On veillera à développer une réflexion fondée sur des données scientifiques rigoureuses et avérées.

**5 EN CONCLUSION** (*Effectuer une synthèse*). Cette synthèse doit intégrer l'ensemble des données développées dans l'unité. Elle peut s'ouvrir sur le développement d'autres formes d'énergies renouvelables en France, en particulier l'hydraulique, qui comptait en 2009 pour 11,4% de la production d'électricité. Il serait bon de souligner aussi le cas particulier de la France en matière de production d'électricité et la prédominance de la filière nucléaire, qui représente à elle seule 76,9% de la production totale.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>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 (<b>doc. 1</b>).</li> <li>Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique (<b>doc. 1 et 2</b>).</li> <li>Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société (<b>doc. 3 à 5</b>).</li> <li>Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (<b>doc. 5</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Ce chapitre peut être mis en lien avec différents éléments du **programme de géographie** de 2<sup>e</sup>, dans le thème introductif (« De nouveaux besoins pour 9 milliards d'hommes en 2050 ») et dans le thème 2 (« Nourrir les hommes »).

– L'apport d'eau et de minéraux à la plante (**doc. 2**) est indissociable de la notion de sol fertile (et donc de sol cultivable dans le cas de l'agriculture). Un sol est dit cultivable s'il fournit à la plante l'ensemble des conditions nécessaires à sa croissance : sels minéraux principalement, mais aussi oxygénation des racines, développement du système racinaire, etc.

– Pour aborder la notion de disponibilité des sols cultivables, il est utile de s'intéresser au rendement agricole (biomasse produite par unité de surface, en t.ha<sup>-1</sup> par exemple) et de faire saisir à l'élève la différence avec la production (en t). Ces deux grandeurs peuvent être abordées et discutées à l'aide du **doc. 3**.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique*). L'Homme prélève (et exporte) 36 %  $[(5 \times 100) / 14]$  de la biomasse produite par le blé pendant sa croissance. Pour les minéraux, il prélève 79 %  $[(114 \times 100) / 144]$  de l'azote absorbé par la plante, 69 %  $[(54 \times 100) / 78]$  du phosphore et 24 %  $[(36 \times 100) / 150]$  du potassium.

**2 DOC. 1 ET 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). On calcule, pour une année, ce que représente la production de blé (600 millions de tonnes, **doc. 3**) par rapport à la production de biomasse de tous les végétaux continentaux (115 milliards de tonnes, **doc. 1**). Cela représente 0,5 %  $[(0,6 / 115) \times 100]$ . Pour l'ensemble des cultures, le prélève-

ment de biomasse continentale par l'Homme est de 8 %  $[(9,1 / 115) \times 100]$  tous les ans.

**3 DOC. 2 ET 3** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). La lumière, le CO<sub>2</sub>, l'eau et les sols cultivables sont indispensables à la croissance de la plante. Parmi ces ressources, les sols cultivables et l'eau sont des ressources limitantes (la lumière et le CO<sub>2</sub> sont inépuisables à cette échelle), qui peuvent empêcher l'existence de l'agriculture dans une région.

**4 DOC. 2 À 5** (*Interpréter des documents*). L'agriculture doit subvenir dans 40 ans aux besoins alimentaires de 9 milliards d'humains. Compte tenu des famines qui touchent déjà un milliard de personnes dans le monde aujourd'hui (**doc. 5**), cet objectif paraît ambitieux. Il sera de toute façon nécessaire d'augmenter la production agricole. Dans toutes les régions du monde (**doc. 3**) on constate une augmentation de la production et du rendement en céréales depuis 1975. Sur le **doc. 4**, on constate que la quantité de sols cultivés par habitant diminue progressivement. Finalement, il n'y a que deux solutions pour augmenter la production mondiale : augmenter les rendements sur les surfaces déjà cultivées, mais cette solution est limitée notamment parce qu'elle nécessite l'utilisation massive d'engrais (dont les effets négatifs sur l'environnement et sur la santé sont importants, **doc. 2**) et parce que les rendements ne peuvent augmenter indéfiniment (**doc. 3**), ou augmenter les surfaces cultivées (on voit que beaucoup de zones continentales sont faiblement cultivées **doc. 3**), mais cela n'est pas toujours possible (sols non cultivables, concurrence avec les milieux naturels).

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les sols et l'eau sont indispensables à l'agriculture. Par ailleurs, l'agriculture devra dans les décennies à venir fournir les aliments à 3 milliards d'humains supplémentaires. La bonne gestion des sols et de l'eau est donc indispensable à l'avenir de l'humanité.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« L'agriculture a besoin de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations de façon à établir l'inégale répartition des ressources en eau et en sol (<b>doc. 1 et 4</b>).</li> <li>• Percevoir le lien entre sciences et techniques (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (<b>doc. 4 et 6</b>).</li> <li>• Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique (<b>doc. 3 et 6</b>).</li> <li>• Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement (<b>doc. 6</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Les aspects concernant la fragilité des sols (érosion notamment) et leur inégale répartition peuvent être complétés avec le **chapitre 6** du thème 2.

– La production d'aliments est toujours dépendante de la surface agricole. Soit de façon directe dans le cas des aliments d'origine végétale, soit indirectement pour les produits animaux. En effet, l'élevage d'animaux domestiques nécessite la production agricole d'aliments pour ce bétail. En conséquence, la surface agricole nécessaire varie beaucoup selon le type d'aliment produit. Ces notions pourront être abordées à l'aide du **doc. 6**. On pourra éventuellement nuancer ce tableau en évoquant l'élevage extensif qui peut se pratiquer dans des zones non cultivables : chèvres au Sahel, mouton des steppes d'Asie, bœuf des Highlands dans les marais...

– Concernant la salinisation d'origine anthropique (**doc. 3 et 5**), il y a deux mécanismes principaux à l'œuvre. Une origine de surface d'abord : l'eau apportée par irrigation contient toujours des sels minéraux et lorsque l'eau s'évapore, les sels minéraux restent à la surface du sol ; cet effet est important dans les zones arides où l'eau utilisée est déjà riche en sels et où les pertes par évaporation sont importantes. L'autre mécanisme est lié aux variations de niveau de la nappe phréatique : l'irrigation importante fait remonter la nappe phréatique sous jacente et celle-ci dissout et concentre les sels situés au-dessus d'elle ; en arrivant à la surface, l'eau s'évapore et les sels restent sur le sol. Les conséquences de la salinisation pour les plantes sont essentiellement des problèmes osmotiques (sécheresse physiologique).

– La technique du goutte à goutte (**doc. 3**), si elle limite la salinisation, ne l'exclut pas totalement. Elle est par ailleurs coûteuse (à l'installation et en entretien) et ne peut s'appliquer à toutes les cultures.

mais elle n'est pas toujours possible. D'abord parce qu'elle coûte chère (**doc. 2**), mais aussi parce qu'elle nécessite que de l'eau soit disponible en assez grande quantité, ce qui n'est pas le cas de certaines régions du monde comme le Niger ou le Chili (**doc. 1**). Enfin, une trop forte irrigation peut provoquer une salinisation des sols, qui deviennent ainsi impropres à la culture (**doc. 5**).

**2 DOC. 2 ET 3 (Interpréter des documents)**. Toute l'eau prélevée pour l'agriculture n'est pas nécessairement consommée par les plantes cultivées. En effet, une partie de cette eau va ruisseler en surface (contribuant à l'érosion des sols), une autre partie va s'évaporer ou s'enfoncer rapidement dans le sol et devenir inaccessible pour la plante. On constate qu'environ 25 % de l'eau prélevée est ainsi perdue (**doc. 2**, année 2000). La technique du goutte à goutte (**doc. 3**) peut limiter ces pertes.

**3 DOC. 4 (Interpréter des documents)**. Seule une partie minoritaire de la surface des continents peut être cultivée. Certains sols se situent dans des régions trop froides, trop sèches, trop pentues ou trop pauvres (en minéraux) pour être cultivés (11 600 ha). Les sols cultivables sont en grande partie déjà cultivés (1 500 ha) (**doc. 4 et unité 1, doc. 3**). Ceux qui ne sont pas cultivés aujourd'hui (1 800 ha) pourraient l'être dans certains cas. Cela supposerait une action de l'Homme : détruire les milieux naturels ou bien développer l'irrigation. Mais ces interventions sont coûteuses et peuvent avoir des impacts importants sur l'environnement (voir activité 1).

**4 DOC. 3 ET 6 (Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société)**. En réduisant sa consommation de viande provenant d'élevages intensifs, un citoyen peut contribuer à augmenter la surface cultivable pour d'autres aliments.

**5 EN CONCLUSION (Communiquer en rédigeant une synthèse)**, La production agricole et les rendements sont dépendants de l'eau et des sols cultivables. Ces deux ressources sont en quantités limitées, fragiles et inégalement réparties à la surface des continents. Elles sont donc un obstacle majeur à l'augmentation de la production agricole, pourtant nécessaire dans les années à venir.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1, 2 ET 5 (Recenser, extraire et organiser des informations)**. L'irrigation permet d'augmenter les rendements

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
L'agriculture 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"> <li>• Pratiquer une démarche scientifique (doc. 1 et 4).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations (doc. 1 à 7).</li> <li>• Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (doc. 1 et 3).</li> <li>• Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement et au monde vivant. (doc. 4 et 5).</li> <li>• Percevoir le lien entre sciences et techniques (doc. 5 et 6).</li> <li>• Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société (doc. 1, 4 et 5)</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Le **chapitre 5 du thème 1** (p. 65) donne d'autres exemples de lien entre l'agriculture et la baisse de biodiversité (destruction des habitats et notamment des forêts tropicales pour créer des surfaces cultivables).

– Le **chapitre 6 du thème 2** (p. 173) apporte des informations complémentaires sur le rôle du sol.

– Les causes de la baisse de biodiversité dans un sol cultivé (**doc. 1**) sont nombreuses et varient selon les pratiques culturales. L'utilisation d'engrais et de pesticides (**acquis du collège**) et le labour (**doc. 2**, perturbation de l'habitat) en sont les principales.

– La structure du sol est un élément fondamental de sa fertilité. Il faut que le système racinaire puisse s'y développer sans difficulté, qu'il trouve de l'air et des sels minéraux. Il est également important que l'eau y circule librement tout en étant suffisamment retenue pour être utile à la plante. Ces conditions sont réunies naturellement lorsque les êtres vivants du sol sont nombreux et diversifiés.

– Le labour est utilisé pour diminuer le développement des plantes adventices («mauvaises herbes») et enfouir les engrais et amendements. Mais il détruit la structure naturelle du sol issue de l'activité biologique. Il peut créer des «semelles», c'est-à-dire des surfaces lisses et tassées de sol que les racines ne peuvent pas franchir. Par ailleurs, une parcelle labourée et laissée nue l'hiver est très sensible à l'érosion.

– Le bioéthanol (**doc. 5 et 6**) est utilisé comme additif à l'essence sans plomb, le biodiesel comme substitut au diesel.

– Aujourd'hui, il n'existe comme biocarburants industriels que des produits de transformation de productions agricoles pouvant aussi être à l'origine d'aliments). Mais des biocarburants de deuxième génération sont à l'étude, pouvant utiliser de la matière organique non agricole (cultures d'algues, déchets de l'industrie agro-alimentaire ou de l'exploitation forestière...). Dans ce cas, la concurrence avec la production alimentaire est moins immédiate (**doc. 5 à 7**).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Un champ cultivé occupe une surface qui pourrait accueillir un écosystème naturel (souvent une forêt en France). Sur ce champ, l'Homme ne va cultiver qu'une seule espèce végétale (maïs, blé, etc.), alors qu'un milieu naturel peut en abriter une grande quantité (**doc. 1**). Les pratiques agricoles comme le labour (**doc. 2**) ou l'utilisation d'engrais et de pesticides contribuent à diminuer encore la biodiversité notamment du sol (**doc. 1**, voir aussi **exercice 4**). Par ailleurs, dans un milieu naturel, des espèces sauvages vont pouvoir trouver de la nourriture ou nicher; dans un champ cultivé, très peu d'espèces pourront survivre et elles seront souvent considérées comme «nuisibles». Enfin, en détruisant le milieu d'origine (**doc. 3**), l'Homme peut contribuer à introduire des espèces nouvelles et le dégrader.

**2 DOC. 4 ET 5** (*Pratiquer un raisonnement*). Pour produire davantage d'agrocarburants, il faut soit augmenter la surface cultivée totale (au détriment de la biodiversité naturelle), soit augmenter la part de produits agricoles transformés en agrocarburants (au détriment des produits alimentaires).

**3 DOC. 6 ET 7** (*Formuler des hypothèses*). L'augmentation de la part de produits agricoles transformée en agrocarburants peut induire une diminution des ressources alimentaires. Suivant les politiques locales et les ressources alimentaires déjà disponibles, les effets seront plus ou moins marqués.

**4 DOC 4 À 7** (*Réaliser un schéma*).

Voir le schéma sur le **site Internet du manuel**.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les sols fertiles sont une ressource limitée. Ils peuvent accueillir un milieu naturel avec sa propre biodiversité, ou être cultivés. Les produits de ces cultures peuvent être utilisés à des fins alimentaires ou non alimentaires (agrocarburants). Donc sur une surface de sol fertile donnée, l'agriculture alimentaire est en concurrence avec la biodiversité naturelle ou la production d'agrocarburants.

## UNITÉ 1 À la découverte d'un sol

[pp. 174-175 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et organiser des informations si possible sur le terrain pour comprendre la formation d'un sol (<b>doc. 1 à 3</b>).</li> <li>Manipuler et expérimenter pour comprendre les propriétés d'un sol (<b>doc. 4 à 6</b>).</li> <li>Manifester sens de l'observation, curiosité et esprit critique (<b>doc. 1 à 6</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité peut servir de guide à une éventuelle sortie sur le terrain destinée à comprendre ce qu'est un sol et comment le sol est organisé.

– Lors de la sortie :

- des échantillons biologiques sont collectés (végétaux herbacés, rameaux de la strate arbustive, fragments de litière, etc.) : ils seront identifiés plus tard en salle de TP ;
- des caractéristiques du biotope sont mesurées (humidité, température, pH, profondeur du sol, ensoleillement) ;
- des échantillons de sol sont collectés, leur étude plus détaillée sera réalisée en salle de TP ;
- des photos sont prises pour servir à l'élaboration d'un diaporama de la sortie.

– Lors de la séance en classe :

• des manipulations sont réalisées par les élèves sous la forme de travaux pratiques mosaïques (suivant la durée du TP dans l'établissement) au cours desquels des propriétés du sol en relation avec la production végétale sont découvertes.

• des observations, à la loupe ou au microscope, d'échantillons de sol permettent de comprendre son organisation à une échelle différente de celle du terrain.

– Si la sortie, pour des raisons diverses, n'est pas réalisée avec les élèves, le professeur peut toutefois construire une séance en classe à l'aide d'échantillons qu'il aura lui-même recueillis.

– Un montage de Berlèse (voir **atelier** p. 184) peut être réalisé à partir d'échantillons de litière.

– Cette unité s'appuie sur les notions construites au collège (classe de 6<sup>e</sup> : voir les **acquis** p. 106). Elle est complétée ici par l'étude de deux sols de nature différente (**doc. 1 à 3**), qui permettra d'insister sur le fait que le sol, quel qu'il soit, possède la même organisation, et par l'étude de certaines de ses propriétés (**doc. 4 à 6** : perméabilité, porosité et capacité à retenir l'eau) qui font du sol un milieu favorable au développement des végétaux.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*Communiquer en réalisant un schéma d'interprétation*).

Voir schéma d'interprétation sur **le site Internet du manuel**.

**2 DOC. 3** (*Formuler une hypothèse*). Les deux sols sont situés dans une même région donc soumis à un même climat. Les différences physico-chimiques (pH et teneur en calcium) sont imputables à la nature de la roche mère qui seule change ici. Celle-ci conditionne donc la composition chimique des sols ; ainsi les différences de végétation s'expliquent aussi par la nature de la roche mère.

**3 DOC. 4** (*S'informer*). Débris végétaux, humus : origine organique. Sables, argiles : origine minérale.

**4 DOC. 5** (*Interpréter des résultats expérimentaux*).

Le volume d'eau recueilli est inférieur à celui versé ; le sol retient donc l'eau et constitue un réservoir potentiel d'eau pour le végétal.

**5 DOC. 4 À 6** (*Interpréter des résultats expérimentaux*).

Le doc. 6 montre la présence de pores dans le sol, des espaces disponibles pour l'eau ; leur existence est liée à la présence des agrégats eux-mêmes conséquence de l'association d'humus et d'argiles sous la forme des complexes argilo-humiques.

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'étude du sol sur le terrain puis au laboratoire a permis de montrer que le sol est un milieu organisé, structuré en horizons. La nature de la roche mère conditionne la nature de la végétation : le sol est une interface entre les roches et la biosphère. L'organisation des éléments organiques et minéraux du sol permet à l'eau d'être retenue dans le sol et ainsi mise à la disposition de la biosphère. Roche mère et biosphère sont donc en interaction dans le sol.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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 [...] »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la formation d'un sol et son inégale répartition (doc. 1 à 7).</li> <li>Manipuler et expérimenter (doc. 4).</li> <li>Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes (doc. 1 à 7).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité doit permettre de mettre en évidence la nature des interactions entre biosphère et géosphère à l'origine de la formation et de l'évolution d'un sol.

– Cette unité 2 et l'unité 3 s'appuient sur les connaissances du collège (**classes de 6<sup>e</sup> et de 5<sup>e</sup>**) : le rôle des décomposeurs dans la formation des sols, l'érosion des roches sous l'action de l'eau et l'évolution des paysages (voir **acquis** p. 106).

– La **page de gauche** peut s'accompagner d'observations à la loupe binoculaire de roches saines et altérées (arène) prélevées lors de la sortie ou présentes dans les collections du lycée. L'altération physique et chimique (hydrolyse) de la roche est révélée par l'observation d'objets géologiques (**doc. 1**) et par l'analyse de documents (**doc. 2 et 3**). Les principaux agents (eau, température) de l'altération sont dévoilés et leur inégale distribution mise en relation avec l'inégale répartition des sols (**doc. 3**).

– La **page de droite** met l'accent sur le rôle de la biosphère dans la formation et l'évolution d'un sol ; elle peut être l'objet d'**activités pratiques** comme celle proposée dans le **doc. 4** ; dans le prolongement de l'étude de terrain, on peut également réaliser un élevage de lombrics (**doc. 6**) et/ou l'observation de filaments mycéliens sur la litière en décomposition (**doc. 5**) et/ou tout simplement une culture de terre sur une boîte Pétri gélosée préalablement stérilisée, laissant apparaître au bout de quelques jours le développement de micro-organismes.

– Le graphique du **doc. 3** est un peu complexe à analyser. C'est pourquoi il a été repris sous la forme d'un **exercice de méthode** (voir p. 185) afin d'explicitier la démarche à mettre en œuvre pour l'interpréter.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*Communiquer à partir d'une comparaison de deux échantillons*). Il faut faire apparaître les points communs et les différences. Un tableau récapitulatif se prête bien à ce genre d'activité.

		Granite	Arène
<b>Structure</b>		compacte	meuble
<b>Minéraux</b>	Quartz	présent	présent
	Feldspath	présent	présent
	Mica	présent	absent
	Argile	absent	présent

**2 DOC. 1 ET 2** (*Interpréter des résultats*). Le granite altéré a perdu sa structure compacte, certains minéraux ont disparu, d'autres sont apparus. L'eau joue un rôle déterminant dans la formation d'un sol car elle est responsable de l'hydrolyse, processus essentiel de l'altération chimique qui aboutit à la dégradation de certains minéraux et à la formation de nouveaux minéraux.

**3 DOC. 3** (*Analyser un graphique*). Les variations d'épaisseur traduisent l'intensité des processus d'altération. Ces derniers sont plus intenses dans les zones où la pluviométrie annuelle est forte (les températures élevées accentuent ces processus). (Voir aussi l'exercice de méthode p. 185.)

**4 DOC. 4, 5 ET 7** (*Mettre en relation des informations*). La feuille semble en partie dégradée : cette dégradation s'explique par l'activité des décomposeurs, mise en évidence grâce au dispositif ExAO (**doc. 4**) et aux données du tableau (**doc. 7**). Les organismes décomposeurs sont nombreux et variés : animaux de tailles divers, champignons, bactéries.

**5 DOC. 5 À 7** (*Saisir, utiliser et mettre en relation des informations*). Les êtres vivants participent à l'activité de dégradation et de décomposition de la matière organique végétale, conduisant à la formation d'humus et d'éléments minéraux ; ils sont responsables du brassage entre éléments minéraux et organiques, ils aèrent le sol. Ils sont essentiels à la formation et à l'évolution du sol.

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les facteurs climatiques (eau et température) sont responsables de la dégradation de la roche mère par hydrolyse, les êtres vivants sont responsables de l'évolution et de la structuration du sol. Ces processus sont lents : plusieurs centaines d'années sont nécessaires pour former un sol.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Le sol est [...] est facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la fragilité de la ressource en sol (<b>doc. 1 à 4</b>).</li> <li>• Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement (<b>doc. 2 à 7</b>).</li> <li>• Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société (<b>doc. 2 à 7</b>).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Les connaissances de base sur ce qu'est un sol ayant été acquises dans les deux unités précédentes, il s'agit ici de montrer comment la connaissance scientifique participe à l'appréhension rigoureuse du problème de la gestion des sols. L'enjeu est donc la gestion d'une ressource.

– La **page de gauche** présente des documents destinés à montrer des menaces qui pèsent sur les sols (**doc. 1 à 3**), mais la liste n'est pas exhaustive.

– La **page de droite**, après avoir résumé les différentes raisons qui obligent à protéger les sols (**doc. 4**) et illustré l'ampleur du problème à l'aide de quelques chiffres (**doc. 6**), vise à proposer quelques solutions pour une gestion durable de notre patrimoine sol (**doc. 5 et 7**). Concernant le **doc. 5**, un lien pourra être fait avec le doc. 2 de la p. 166 (**chapitre 5**) qui illustre l'impact négatif du labour sur la biodiversité et la structure du sol.

– Les **exercices 4** (pollution par le plomb, p.182), **5** (l'érosion d'un champ en milieu tropical, p. 183) et **6** (l'artificialisation des sols, p. 183) sont des prolongements utiles à cette unité.

– Cette unité pourra être complétée utilement par l'**atelier « Sciences actualité »** intitulé « Les sols en danger » proposé p. 184.

– D'autres pistes d'exploitation sont possibles comme l'interview d'un pédologue (scientifique spécialisé dans l'étude des sols).

– On pourra également renvoyer les élèves aux différents **métiers** en lien avec le thème 2 du programme et notamment les **métiers dans le domaine de la surveillance des sols** (voir p. 186).

– L'ouvrage *Le sol: ressource pour une agriculture durable*, Éditions Quae, 2009) offre une bonne synthèse des connaissances actuelles sur le sol et sur les enjeux liés à sa protection.

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Saisir des informations*). Érosion par ravinement, diminution de la surface des sols cultivables du fait de la progression des zones urbaines et industrielles, pollution, salinisation, perte d'humus sont des menaces qui pèsent actuellement sur les sols.

**2 DOC. 3 À 6** (*Saisir des informations*). Le planisphère (**doc.3**) montre que la dégradation des sols est un phénomène qui touche tous les continents sans exception; de surcroît (**doc.6**), sa vitesse d'érosion étant plus forte que celle de sa formation, le sol apparaît comme une ressource non renouvelable à l'échelle humaine. Le texte (**doc.4**) explique le rôle majeur que jouent les sols en tant que support de la production agricole, bien sûr, mais aussi dans le maintien d'un environnement favorable à l'humanité.

**3 DOC. 5** (*Saisir des informations*). La suppression du labour permet de limiter deux menaces qui pèsent sur les sols: l'érosion et la perte d'humus.

**4 DOC. 7** (*Saisir des informations et exploiter des données graphiques*). D'après les données du graphique, la quantité de terre emportée est dix fois moins importante lorsque les rangées de vigne sont enherbées: cette pratique semble donc efficace pour limiter le processus d'érosion. Le réseau racinaire des herbes retient les particules de sol et évite qu'elles ne soient emportées par les eaux de pluie: les herbes limitent également le ruissellement à la surface du sol.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les menaces qui pèsent sur les sols sont de divers ordres:

– diminution de la quantité de sol; la menace essentielle est **l'érosion** qui enlève chaque année beaucoup plus de sol qu'il ne s'en forme (10 à 500 fois plus); la surface de sol cultivable diminue également du fait que certains sols sont recrutés pour assurer le soutien d'infrastructure de transport, de locaux industriels ou d'habitation. Ils sont ainsi **détournés** de leur fonction biologique

– diminution de la qualité des sols; les causes sont multiples: **pollution, salinisation, perte d'humus**. Il s'agit souvent des conséquences de la surexploitation des sols.

Quelques exemples de solutions envisagées concernant l'amélioration des pratiques culturales:

– enherbement permettant de limiter l'érosion

– pratique du non labour permettant d'améliorer la qualité des sols, notamment en les enrichissant en humus, etc.



## EXERCICES DU THÈME 2

Les corrigés des exercices des rubriques « *Évaluer ses connaissances* » et « *S'entraîner avec un exercice guidé* » se trouvent à la fin du manuel (p. 256).

### Chapitre 1

[p. 119 du manuel]

#### ④ LES CONDITIONS DE CROISSANCE D'UNE ALGUE UNICELLULAIRE

Saisir des informations dans un but argumentatif.

##### Réponses attendues:

1. Dans le lot B, à l'obscurité, le nombre de chlorelles diminue, de 1,0 million de cellules par mL à 0,3 million de cellules par mL en 6 jours. On en déduit que les chlorelles sont mortes. Dans le lot A, en revanche, le nombre de cellules double : elles se sont donc multipliées. Les chlorelles ont donc besoin de lumière pour produire de la matière organique à partir d'eau, de dioxyde de carbone et de sels minéraux : ces organismes sont capables de réaliser la photosynthèse.

#### ⑤ LE DEVENIR DU CARBONE PENDANT LA PHOTOSYTHÈSE

Comprendre une technique et ses résultats.

##### Réponses attendues:

1. L'élément chimique étudié dans l'expérience est le carbone. Par principe, la photographie ne révèle que les molécules dont les atomes de carbone sont marqués. On observe donc, sur le doc. 1, que les molécules organiques (acides aminés, sucres) produites par les feuilles d'épinard du lot n° 1, cultivées à la lumière, contiennent du carbone radioactif. Au début de la mise en culture, les seules molécules possédant des atomes de carbone marqués étaient les molécules de CO<sub>2</sub>. Les atomes de carbone des molécules organiques produites par photosynthèse proviennent donc du CO<sub>2</sub> de l'air.

2. Dans le lot n° 2, aucune tache n'est révélée sur la photographie : en l'absence de lumière, les feuilles d'épinard n'ont pas produit de molécules organiques à partir du CO<sub>2</sub> marqué. La production de matière organique à partir du CO<sub>2</sub> nécessite donc de la lumière. Ce processus est la photosynthèse.

#### ⑥ CONCENTRATION DE CO<sub>2</sub> ET PHOTOSYTHÈSE

Raisonnement à partir d'un graphique.

##### Réponses attendues:

1. Sur ce graphique, on observe qu'en deçà d'une concentration de CO<sub>2</sub> dans le milieu de 2 %, la biomasse produite par la culture de chlorelle est faible, inférieure à 25 µg.L<sup>-1</sup>. Entre 2 et 6 %, la biomasse produite croît de manière importante, jusqu'à dépasser les 200 µg.L<sup>-1</sup>. Au-delà de 6 %, la production de biomasse diminue, jusqu'à devenir nulle pour une concen-

tration du milieu en CO<sub>2</sub> de 12 %. La biomasse produite par une culture de chlorelle dépend donc de la quantité de CO<sub>2</sub> dans le milieu.

2. Jusqu'à une valeur de 6 %, on peut supposer que l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> favorise la réalisation de la photosynthèse par les chlorelles. À des concentrations plus élevées, on peut émettre l'hypothèse que le CO<sub>2</sub> s'avère toxique pour les chlorelles et empêche leur croissance.

### Chapitre 2

[p. 131 du manuel]

#### ④ L'ORIGINE D'UNE MARÉE NOIRE

Recenser, extraire et organiser des informations.

##### Réponses attendues:

1. Le pétrole était extrait d'une roche réservoir, poreuse, au sein de laquelle s'étaient accumulées les hydrocarbures. Cette roche est recouverte par des roches imperméables, bloquant la migration du pétrole vers la surface et permettant son piégeage dans la roche réservoir. Stockés sous pression dans la roche réservoir, les hydrocarbures en jaillissent spontanément si on perfore les roches imperméables situées au-dessus.

2. La roche réservoir est recouverte de plus de 5 000 mètres de sédiments car elle est située sur un plateau continental qui a été soumis, à une période de son histoire, à un enfoncement progressif, ou subsidence. Une grande épaisseur de sédiments a donc pu s'accumuler au-dessus de cette roche réservoir au cours de son enfoncement.

3. Les dégâts humains et écologiques causés par la marée noire dans le golfe du Mexique sont immenses. Pour minimiser ces risques, cette catastrophe peut conduire à la limitation de l'extraction du pétrole dans cette zone. Cela modifierait l'approvisionnement en pétrole des États-Unis et contraindrait ce pays à changer sa politique énergétique.

#### ⑤ LA FORMATION D'UNE COUCHE DE CHARBON

Calculer et raisonner.

##### Réponses attendues:

1. Une couche de charbon d'1 mètre d'épaisseur est le résultat de la compaction d'une couche de sédiments riches en matière organique de 10 mètres d'épaisseur. La formation d'une couche de charbon de 20 mètres d'épaisseur nécessite donc la compaction d'une couche de sédiments de 200 mètres d'épaisseur.

Le temps nécessaire pour former une couche de sédiments riche en matière organique de 200 mètres d'épaisseur se calcule par proportionnalité :  $T = 200 / 4 \cdot 10^{-3} = 50\,000$  ans.

## Exercice de méthode

[p. 131 du manuel]

Tirer des informations d'une carte.

1. Le carbone d'origine organique d'un sol provient de la matière vivante, principalement végétale, morte et dégradée par la faune du sol. La teneur en carbone d'origine organique d'un sol dépend donc de la biomasse végétale qui peut y être produite chaque année, c'est-à-dire de la productivité primaire de la région étudiée.

1.

Région	Sahara	Amazonie	Europe	Alaska	Sibérie
Productivité primaire	Faible	Forte	Moyenne	Moyenne	Faible
Stock de carbone organique	Très faible	Moyen	Moyen	Fort	Moyen
Vitesse de dégradation de la matière organique	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Faible

3. La vitesse de dégradation de la matière organique en Amazonie et au Sahara est forte. Mais l'Amazonie, à la différence du Sahara, présente une forte productivité primaire, qui enrichit les sols en carbone organique.

En Alaska et en Sibérie, la vitesse de dégradation est similaire, et très lente. L'Alaska, en revanche, présente une productivité moyenne supérieure à la Sibérie. Ceci explique que son sol soit plus riche en carbone organique.

En Europe, la vitesse de dégradation est moins importante qu'en Amazonie, mais la productivité primaire est plus faible. Les stocks de carbone organique sont donc comparables dans ces deux régions.

## Chapitre 3

[p. 145 du manuel]

### ⑤ LE CYCLE DU CARBONE ET SA PERTURBATION PAR L'HOMME

Restituer des connaissances de façon organisée.

#### Réponse attendue :

Alors qu'elle est stable depuis la fin du 1<sup>er</sup> millénaire, la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique s'accroît depuis près de 200 ans. Cette date correspond au début de l'exploitation des combustibles fossiles par l'Homme : les activités humaines sont donc à l'origine de l'accroissement de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique observée. La totalité du CO<sub>2</sub> émis par l'Homme ne s'accumule pourtant pas dans l'atmosphère : la photosynthèse réalisée par les organismes chlorophylliens, sur les continents ou dans les océans, ou la dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau des bassins océaniques sont des mécanismes naturels d'absorption de CO<sub>2</sub> : ils modèrent donc l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

### ⑥ LES CIMENTERIES, SOURCES DE CARBONE

Recenser, extraire et organiser des informations.

#### Réponses attendues :

1. Les cimenteries rejettent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère lors de

la cuisson du calcaire (qui libère du CO<sub>2</sub>) et lors de l'utilisation de combustibles fossiles pour le chauffage des roches.

2. La fabrication du ciment est réalisée à partir de roches sédimentaires prélevées dans le sous-sol : les roches calcaires de la lithosphère, qui constituent des stocks de carbone important. La cuisson de ce calcaire libère du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère : la fabrication du ciment induit donc bien un déstockage du carbone enfoui dans les roches sédimentaires.

### ⑦ DES VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA CONCENTRATION EN CO<sub>2</sub> ATMOSPHÉRIQUE

Formuler une hypothèse.

1. La teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère varie de façon cyclique au cours de l'année, avec une amplitude d'une quinzaine de ppmv. Le taux maximum de CO<sub>2</sub> atmosphérique est atteint en hiver (environ 380 ppm) et le taux minimum en été (environ 365 ppm). Cette variation suit le rythme des saisons. On peut supposer qu'elle est liée au rythme cyclique de la vie des organismes chlorophylliens : ceux-ci se développent à partir du printemps et, par la photosynthèse, prélèvent plus de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qu'en hiver.

2. En été, il existe une variation journalière du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Le maximum est relevé pendant la nuit (+3 ppmv) et le minimum pendant le jour (-2 ppmv). Ces variations ne sont pas observées en hiver. La baisse du taux de CO<sub>2</sub> pendant la journée peut correspondre à l'activité photosynthétique qui, en présence de lumière, nécessite un prélèvement de CO<sub>2</sub> atmosphérique. La photosynthèse s'interrompt durant la nuit (en absence de lumière) : le taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique augmente sous l'effet de la respiration des êtres vivants (végétaux, êtres vivants du sol, etc.). Ces données journalières, en été et en hiver, valident donc l'hypothèse émise à la question 1.

## Chapitre 4

[p. 157 du manuel]

### ④ LES TEMPÉRATURES DE L'OcéAN ATLANTIQUE

Mettre en relation des connaissances et des informations.

#### Réponses attendues :

1. Pour le mois de décembre 2009, on observe une variation latitudinale des températures des eaux de surface dans l'Atlantique : la température diminue de l'équateur (de 26 à 28 °C) aux pôles (entre 0 et 2 °C)

2. Ces variations de température sont déterminées par l'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface du globe : l'équateur reçoit un excédent d'énergie solaire alors que les pôles sont déficitaires. Ces variations d'énergie reçue selon la latitude sont dues à la sphéricité de la Terre (voir doc. 5 page 151 et l'exercice 3 p. 156). En effet, quand la latitude augmente, l'angle d'incidence des rayons solaires – et donc la quantité d'énergie reçue par unité de surface – diminue. Cette variation latitudinale de l'énergie reçue par unité de surface explique la variation latitudinale de la température des eaux de surface de l'Atlantique.

## ⑤ VENT ET TEMPÉRATURES EN MÉDITERRANÉE

Formuler une hypothèse.

### Réponses attendues :

1. On observe une augmentation des températures de surface du Nord au Sud. On note également une différence entre les deux thermographies : les températures des eaux de surface du golfe du Lion en Méditerranée sont plus basses à la fin de la deuxième semaine de juillet que durant la première semaine du même mois. On peut formuler l'hypothèse que le Mistral, un vent du Nord, transporte de l'air froid qui refroidit les eaux de surface dans cette région.

2. La température des eaux de surface a baissé et ce refroidissement est d'autant plus important qu'on se situe dans le nord du golfe du Lion. Ce refroidissement s'est donc effectué par le nord, ce qui témoigne de la direction du Mistral et valide l'hypothèse précédente.

3. Dans cette situation, le vent a transféré une masse d'air froid du Nord vers le Sud. Cet air froid venant des hautes latitudes, s'est réchauffé au contact des eaux chaudes des basses latitudes qui reçoivent un flux solaire plus important. Il y a donc bien un transfert d'énergie entre les faibles latitudes vers les basses latitudes.

## ⑥ LES VARIATIONS DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ÉOLIENNE

Exploiter des données graphiques.

### Réponses attendues :

1. Les variations quotidiennes de la consommation d'énergie suivent l'alternance des jours (augmentation de la consommation) et des nuits (diminution de la consommation). Les variations hebdomadaires sont liées à l'activité économique : la consommation est importante pendant les jours travaillés et faible pendant les deux jours du week-end.

2. Le caractère imprévisible de la production d'électricité éolienne est dû à l'intermittence du vent.

3. Même pendant les périodes de plus faible consommation (pendant le week-end ou la nuit), la consommation est toujours supérieure à 1 500 MWh. Or la production d'électricité éolienne n'atteint qu'exceptionnellement cette valeur : une fois à la 200<sup>e</sup> heure et deux autres fois autour de la 650<sup>e</sup> heure. Ces trois pics de production ne coïncident pas avec les périodes de très faible consommation. La production d'électricité éolienne n'a donc jamais permis, dans cette région du Danemark, de satisfaire les besoins.

4. Pour que la production d'électricité d'origine éolienne satisfasse la demande, deux solutions sont envisageables : augmenter le nombre d'éoliennes pour augmenter la puissance installée et/ou diminuer la consommation d'électricité.

## Exercice de méthode

[p. 159 du manuel]

Interpréter et critiquer un modèle analogique simple.

1. Les échanges de carbone entre l'atmosphère et l'océan se déroulent sur des échelles de temps et de distance très

importantes. Ils sont donc impossibles à observer dans la réalité. Le recours à un modèle est alors une nécessité si l'on veut étudier de tels phénomènes.

2. Le changement de couleur de l'indicateur coloré indique une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau du bécher, qui modélise l'océan. Ce CO<sub>2</sub> peut seulement provenir de l'air contenu dans la cartouche puisque l'enceinte, qui modélise l'atmosphère, est étanche. On peut donc déduire de l'étude de ce modèle que les rejets de CO<sub>2</sub> atmosphériques liés aux activités humaines sont absorbés, au moins pour partie, par l'eau des océans.

3. L'injection de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte provoque une augmentation de pression. Les rejets de CO<sub>2</sub> par l'Homme ne modifient pas, eux, la pression atmosphérique.

## Chapitre 5

[p. 171 du manuel]

## ⑤ L'ASSÈCHEMENT DE LA MER D'ARAL

Recenser, extraire et organiser des informations.

### Réponses attendues :

1. D'après le texte, on constate que la première activité touchée a été la pêche. L'agriculture, outre qu'elle était déjà consacrée surtout à une production non alimentaire (le coton), est devenue difficile dans la région à la suite de l'assèchement de la mer (pollution par le sel, le sable et les pesticides). Les habitants n'ont plus disposé de ressources alimentaires suffisantes et ont subi des maladies vraisemblablement dues aux polluants.

2. Voir schéma sur le **site Internet du manuel**.

3. L'irrigation n'est possible que si de l'eau est disponible en grande quantité sinon, comme dans le cas de la mer d'Aral, l'environnement de toute une région peut être dégradé. Par ailleurs, une trop forte irrigation peut provoquer une salinisation des sols.

## ⑥ L'OCCUPATION DES SOLS EN CHINE

S'informer à partir d'un graphique et raisonner.

### Réponses attendues :

1. Il y a 10 000 ans, le territoire chinois était essentiellement recouvert de forêts (70 % de la superficie totale). Aujourd'hui, les terres érodées et les steppes sont majoritaires (34 et 28 %).

2. On peut supposer que la déforestation, pour l'agriculture par exemple, a contribué à augmenter le ruissellement de l'eau et donc l'érosion des sols. Le pâturage ou l'abandon de champs est aussi à l'origine de la formation des steppes.

3. Il y a 10 000 ans, la Chine était couverte de forêts à 70 %. En développant l'agriculture, l'homme a eu besoin de sols cultivables qu'il a conquis sur les forêts en les détruisant massivement. 12 % de ces sols sont encore cultivés aujourd'hui, 16 % sont devenus des steppes, et 34 % sont érodées. Il ne reste que 8 % de la surface chinoise couverte de forêt.

## ⑦ LES SURFACES CULTIVÉES DANS LE MONDE

Formuler une hypothèse.

### Réponses attendues:

1. Certains facteurs comme l'absence d'eau, la présence de forêts importantes ou les difficultés d'accès (dans les montagnes, par exemple) sont des obstacles à l'utilisation de sols cultivables.

2. Dans ces régions, une forte irrigation a permis de rendre des zones arides du désert cultivables. La ressource en sols cultivables y est la plus faible du monde et il ne reste plus de terres cultivables potentielles. En cas d'augmentation de la population, ces régions peineront donc à produire davantage, faute de pouvoir augmenter la surface cultivée (à moins de trouver davantage d'eau d'irrigation, ce qui est peu probable).

## Chapitre 6

[p. 183 du manuel]

### ⑤ L'ÉROSION D'UN CHAMP EN MILIEU TROPICAL

Réaliser un schéma et adopter une démarche explicative.

1. Voir sur le **site Internet du manuel**.

2. En milieu tropical, les précipitations sont importantes. Le pâturage intensif, en éliminant le couvert végétal, a favorisé le ruissellement de ces eaux en surface, donc l'érosion et le ravinement du sol.

3. Pour limiter l'érosion de ce sol, il faudrait cesser le pâturage pendant une ou plusieurs années pour permettre au couvert végétal herbacé de se reconstituer.

### ⑥ L'ARTIFICIALISATION DES SOLS

Exploiter des données graphiques.

1. le graphique montre, depuis 1993, l'augmentation des surfaces dédiées aux activités humaines (pour le transport, le logement etc.). L'artificialisation des sols est donc le détournement des fonctions agricoles du sol au profit d'autres activités humaines. Elle induit une diminution de la proportion des terres agricoles.

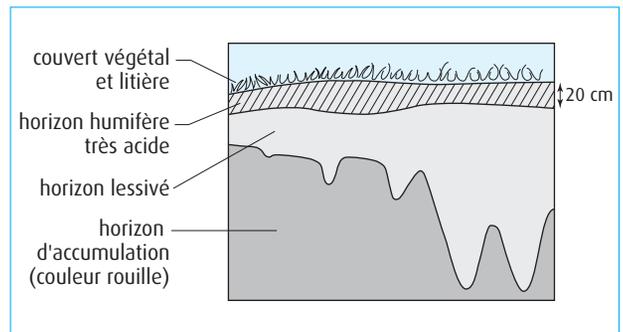
2. En 2008, 5 millions d'hectares de terres sont artificialisés, soit 50 000 km<sup>2</sup>. Cela représente environ 7,5% de la superficie de la France. En 1993, 3,8 millions d'hectares étaient artificialisés, soit 5,6% de la superficie totale de la France.

3. La surface de sol artificialisée par habitant représente, en 2008:  
 $50\,000 / 64,4 \cdot 10^6 = 7,8 \cdot 10^{-4}$  km<sup>2</sup>, soit 780 m<sup>2</sup> par habitant.

### ⑦ LA FORMATION D'UN PODZOL

Réaliser un schéma; adopter une démarche explicative.

1. Voir le schéma sur le **site Internet du manuel**.



2. Le lessivage est responsable du départ des acides humiques et des oxydes de fer vers un horizon plus profond. L'horizon de surface, ou horizon lessivé, est appauvri et peu favorable au développement des végétaux.

3. Le podzol se forme sur roche mère acide (riche en quartz) et perméable, sous une végétation de conifères qui produit une litière peu abondante et un humus acide, sous un climat humide et frais favorisant le lessivage et limitant l'activité biologique de dégradation.

## Exercice de méthode

[p. 185 du manuel]

Analyser un graphique complexe.

1. La profondeur du sol est très faible voire nulle aux fortes latitudes (zone polaire, latitude supérieure à 75°) ainsi qu'au niveau des zones désertiques (latitudes comprises entre 20 et 30°). Elle croît de manière importante aux latitudes moyennes (entre 45 et 75 °) pour atteindre 2 mètres, ainsi qu'aux faibles latitudes (comprises entre 0 et 20°) où elle est maximale et y atteint 8 mètres.

2. On observe une très bonne corrélation entre intensité des précipitations et profondeur du sol. En revanche, il n'y a pas de corrélation entre température et profondeur du sol: les variations des deux courbes ne sont pas liées.

3. Si 1 mois est nécessaire former 1 millimètre de sol à l'équateur, le temps pour constituer un sol de 8m de profondeur est de:  $T = (8\ 5\ 1) / 1 \cdot 10^{-3} = 8\ 000$  mois, soit 666, 67 ans.

# THÈME 3. CORPS HUMAIN ET SANTÉ : L'EXERCICE PHYSIQUE

## CHAPITRE 1

# Quantifier l'effort physique et ses effets

### UNITÉ 1 Effort physique et énergie

[pp. 194-195 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Au cours d'un exercice long et/ou peu intense, l'énergie est fournie par la respiration, qui utilise le dioxygène et les nutriments. 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"><li>• Exploiter des données quantitatives concernant les modifications de la consommation de dioxygène et de nutriments à l'effort (<b>doc. 5 et 6</b>).</li><li>• Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental pour mettre en évidence un ou plusieurs aspects du métabolisme énergétique à l'effort (consommation de dioxygène) (<b>doc. 6</b>).</li></ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité permet de répondre à la première phrase du programme.

– Le **doc. 1** explicite les notions d'énergie, de travail, de puissance et précise les unités associées (Joules et Watts).

– Le **doc. 2** s'intéresse à l'alimentation d'un coureur lors d'une course en montagne. La notion d'aliment « énergétique » et notamment d'aliment glucidique est évoquée. En mobilisant ici les notions construites au collège sur le rôle des aliments (classe de 5<sup>e</sup>, voir aussi les **acquis p. 191 du manuel**), on prépare les activités suivantes concernant l'apport énergétique des nutriments.

– Le **doc. 3** a été obtenu à l'aide d'un pédalier spécial (pédalier SRM) qui permet de déterminer directement la puissance (en W). Il montre l'augmentation de la puissance développée (donc du travail musculaire) notamment en début d'ascension des cols, ou après une zone plate dans le col des Aravis, ainsi que la baisse du travail en descente (entre les cols).

– Le **doc. 4** reprend et complète les données des classes antérieures concernant les sources d'énergie du muscle. Les mécanismes anaérobies de la production énergétique ne sont pas au programme. L'équivalent énergétique des glucides et lipides est indiqué.

– La relation entre apport d'énergie et respiration est illustrée à l'aide d'une manipulation utilisant l'ExAO (**doc. 6**). La courbe cumulée de consommation de O<sub>2</sub> permet de trouver la surconsommation de O<sub>2</sub> liée à l'effort et donc la dépense supplémentaire d'énergie. De plus, l'affichage de la puissance correspondant à l'exercice permet si, on le souhaite,

de faire calculer le rendement musculaire (qui sera abordé dans l'**unité 2**) : 1,3 L de O<sub>2</sub> surconsommés, soit une dépense supplémentaire de 29 kJ, pour un effort de 110 W sur 40 s, soit un travail de 4400 J, ou 4,4 kJ. Le rendement est donc de :  $(4,4 / 29) \times 100 = 15,2 \%$ .

### Exploitation des documents par les activités

1 **DOC. 1, 2 ET 4** (*Recenser des informations et raisonner*). Réaliser un effort physique nécessite de produire un travail musculaire, donc de l'énergie. Cette production implique un apport de nutriments (via l'alimentation) et de dioxygène.

2 **DOC. 1, 3 ET 5** (*Effectuer des calculs*). L'ascension du col de la Colombière a duré 32 min, soit 1920 s. À la puissance moyenne de 330 W, le travail musculaire fourni est de  $330 \times 1920 = 633600$  J, soit 633,6 kJ.

3 **DOC. 5 ET 6** (*Traiter des données et expliquer*). On peut lire sur le graphe, à la fin de l'expérience, que l'élève a surconsommé 1,3 L de O<sub>2</sub> suite à son effort. La dépense énergétique supplémentaire est de :  $(17,8 / 0,8) \times 1,3 = 28,9$  kJ. La quantité de glucides consommés correspondante est donc de :  $(28,9 / 17,8) = 1,6$  g.

4 **EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Le travail musculaire est l'énergie mécanique mise en jeu pour réaliser un mouvement. Cette énergie provient de la transformation de l'énergie chimique contenue dans les nutriments, qui est libérée lors de la respiration en présence du dioxygène de l'air.

# UNITÉ 2 Les limites de l'organisme lors d'un effort physique

[pp. 196-197 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« L'effort physique augmente la consommation de dioxygène [...] Il y a une limite à la consommation de dioxygène. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploiter des données quantitatives concernant les modifications de la consommation de dioxygène à l'effort (doc. 1 à 3 et doc. 6).</li> <li>• Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique (doc. 6).</li> <li>• Utiliser un tableur (doc. 4).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité vise à montrer les limites de l'organisme lors d'un effort physique. La notion de rendement musculaire complète cette approche et peut permettre un travail sur tableur.

– Sur le **doc. 2**, on observe que le sportif est équipé d'un masque (mesure consommation de  $O_2$ ) et d'électrodes (pour la mesure de la fréquence cardiaque). Le cadran de l'appareil suggère la possibilité de programmer les paramètres de l'exercice, notamment le travail à effectuer.

– Le **doc. 3** correspond à des données brutes d'enregistrements réels et montre clairement les différences d'aptitudes d'un sédentaire et d'un sportif professionnel d'âges comparables.

– Les **doc. 4 à 6** visent à faire appréhender aux élèves le fait que l'essentiel de l'énergie dépensée est dissipée sous forme de chaleur. Le **doc. 4** est un enregistrement thermographique d'un individu dont certaines parties du corps sont particulièrement sollicitées (membres supérieurs). Ce document peut être présenté après avoir demandé aux élèves de concevoir un protocole expérimental pour montrer un autre aspect du métabolisme d'effort, en l'occurrence l'élévation de température (en relation avec les **cours d'EPS**). Ce document peut être mis en relation avec le **doc. 5**, qui montre la transpiration du coureur. Celle-ci permet l'évacuation du surcroît de chaleur.

– Le **doc. 6** est l'occasion pour l'élève de découvrir la notion de rendement musculaire et éventuellement d'utiliser un tableur pour le calculer dans différentes situations. Les notions de puissance et de rendement sont à mettre en relation avec les connaissances du programme de physique-chimie 2<sup>e</sup>.

– À noter sur le **doc. 6** que la femme sédentaire poursuit l'effort « moins loin » que la professionnelle (170 W contre 240 W). Pour la majorité des puissances (sauf la dernière), le rendement est plus élevé chez la sportive. L'élève peut alors formuler plusieurs hypothèses explicatives, notamment l'effet de l'entraînement.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 À 3** (*Mettre en relation des documents dans un but explicatif*).

Le maximum de consommation de  $O_2$  est atteint chez le sédentaire à  $3,9 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  et chez le professionnel à  $5,29 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Quand la puissance de l'exercice augmente, la consommation d' $O_2$  augmente chez les 2 sujets. Cela correspond aux  $VO_2$  max suivants (en  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ): 39,8 (sédentaire) et 65,3 (professionnel).

**2 DOC. 3** (*Formuler une hypothèse*).

La différence de  $VO_2$  max peut être liée à l'effet de l'entraînement.

**3 DOC. 6** (*Exploiter des valeurs pour faire un calcul*)

$R = 21,5\%$  pour la cycliste professionnelle;  $R = 19,9\%$  pour la femme sédentaire.

**4 DOC. 4 À 6** (*Extraire et recenser des informations, raisonner*).

L'énergie des nutriments non convertie en énergie mécanique lors de l'effort est dissipée sous forme de chaleur (énergie calorifique).

**5 DOC. 4** (*Traiter des données et expliquer*).

Pour la cycliste professionnelle,  $VO_2 \text{ max} = 53,57 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Pour la femme sédentaire  $VO_2 \text{ max} = 44,41 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . En comparant les  $VO_2 \text{ max}$  d'un cycliste homme (voir le doc. 3) et d'une cycliste femme à conditions physiques comparables (sédentaires d'une part et sportifs d'autre part), on peut émettre l'hypothèse d'une différence liée au sexe.

**6 EN CONCLUSION**

(*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les limites que l'organisme peut atteindre lors d'un effort physique sont déterminées par le  $VO_2 \text{ max}$  et le rendement musculaire. Ces limites peuvent être repoussées par l'entraînement.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. L'exercice physique est un des facteurs qui aident à lutter contre l'obésité ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S'informer sur l'obésité et ses causes (<b>doc. 1 à 3</b>).</li> <li>• Exploiter des données quantitatives concernant les modifications de la consommation des nutriments à l'effort (<b>doc. 4 à 6</b>).</li> <li>• Chercher des remèdes possibles à l'obésité à travers l'activité sportive (<b>doc. 4 à 8</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

- Il s'agit dans cette unité de réfléchir à la notion d'équilibre dépenses-apports énergétiques.
- La **page de gauche** vise à sensibiliser à la notion d'obésité. On pourra à ce sujet mobiliser les acquis du collège (**programme de la classe de 5<sup>e</sup>**).
- Le **doc. 1** permet de définir l'obésité.
- Le **doc. 2** sensibilise à la notion de bilan énergétique et prépare à l'exploitation des **doc. 4 à 8**.
- Le **doc. 3** montre que la prévalence de l'obésité en France, chez les jeunes de 5 à 12 ans, a considérablement augmenté entre 1965 et 2000. Cette évolution tend à se stabiliser depuis 2000 dans cette tranche d'âges (mais pas chez les adultes à partir de 18 ans: voir sur Internet l'étude ObÉpi 2009).
- La **page de droite** permet à l'élève de déduire que les nutriments ne sont pas utilisés de manière équivalente suivant le type d'effort fourni, et qu'un exercice physique d'une intensité adéquate permet de lutter contre l'obésité.
- Le **doc. 4** permet de localiser les réserves énergétiques d'un organisme.
- Le **doc. 5** montre clairement la relation entre pratique d'une activité physique et réduction de la masse grasse, dans les 2 sexes. Un lien pourra être établi avec la campagne d'information « manger-bouger » (voir le site [www.mangerbouger.fr](http://www.mangerbouger.fr)).
- Pour exploiter le **doc. 6**, l'élève doit avoir compris que le cyclo-ergomètre permet de doser l'effort à fournir.
- Le **doc. 7** permet de quantifier les dépenses énergétiques associées à différents sports que peuvent pratiquer les élèves.
- Le **doc. 8** illustre les effets bénéfiques d'une cure associant régime hypocalorique et activité physique bien planifiée, sous contrôle médical.
- L'interview du professeur Arnaud Basdevant, en charge de l'étude ObÉpi précédemment citée, publiée dans les **pages métiers** en lien avec le thème 3 du programme (voir p. 254 du manuel) pourra compléter utilement cette unité.

## Exploitation des documents par les activités

- 1 DOC. 1 ET 2** (*Recenser des informations, raisonner et expliquer*). La cause principale de l'obésité est un déséquilibre énergétique: les apports sont supérieurs aux dépenses.
- 2 DOC. 2 ET 3** (*Formuler des hypothèses*). On peut émettre l'hypothèse qu'une alimentation trop riche (sucres, graisses) et/ou un manque d'activité physique peuvent être à l'origine d'une augmentation de la prévalence de l'obésité.
- 3 DOC. 4 À 6** (*Exploiter des données pour expliquer*). Le doc. 5 montre que le pourcentage de masse grasse est toujours plus faible chez les sportifs d'endurance que chez les sédentaires, hommes ou femmes. Ce résultat est expliqué par le doc. 6, qui montre que les lipides constituent la source d'énergie principale du muscle pour les activités physiques à moins de 65 % de VO<sub>2</sub> max environ (activités d'endurance). Les sportifs d'endurance perdent donc leurs réserves de graisse.
- 4 DOC. 2 ET 6 À 8** (*Organiser des informations dans un but explicatif*). L'excès de masse corporelle est lié à un déséquilibre apports/dépenses. L'activité sportive augmente les dépenses énergétiques. Un régime hypocalorique diminue les apports énergétiques.
- 5 DOC. 6** (*Analyser un graphe dans un but explicatif*). Lors d'exercices d'intensité modérée (25 à 65 % de VO<sub>2</sub> max), les lipides sont la source d'énergie majoritaire du muscle. Ce type d'effort physique est donc le plus propice à la perte de masse grasse. Dans la lutte contre l'obésité, il convient toutefois de prendre aussi en compte la dépense énergétique totale. À ce titre, des exercices entre 45 et 65 % de VO<sub>2</sub> max offrent un bon compromis.
- 6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'exercice physique modéré, mais prolongé, induit une consommation de lipides et permet de lutter contre l'excès de masse corporelle. Il doit être associé à des mesures diététiques.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Au cours de l'effort, un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés: [...] fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) [...]. Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculer une consommation en dioxygène selon l'exercice (<b>doc. 1 et 2</b>).</li> <li>• Mettre en œuvre un protocole expérimental assisté par ordinateur pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Rechercher et organiser des informations extraites d'une expérimentation (<b>doc. 1 à 3</b>) et d'un tableau (<b>doc. 5</b>).</li> <li>• Mettre en relation la structure (<b>doc. 4 et 6</b>) et la fonction de l'appareil respiratoire (<b>doc. 5</b>) lors d'une activité physique.</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– En relation avec le **cours d'EPS**, la problématique de cette unité est facile à poser. On peut également partir d'un petit film d'un athlète essoufflé après un exercice physique.

– Cette unité repose en grande partie sur des connaissances acquises au collège, qui pourront être mobilisées (programme de la **classe de 5<sup>e</sup>**; voir aussi les **acquis du thème 3** p. 190): trajet de l'air dans l'appareil respiratoire, structure des alvéoles pulmonaires, passage du dioxygène de l'air dans le sang au niveau de la paroi alvéolaire, passage du dioxyde de carbone du sang dans l'air au niveau de la paroi alvéolaire, augmentation des besoins en dioxygène à l'effort. Le programme de 5<sup>e</sup> parle de rythme respiratoire, tandis que le programme de 2<sup>e</sup> adopte le terme de fréquence ventilatoire.

– Lors de la phase pratique illustrée par l'utilisation d'un dispositif ExAO (**doc. 3**), vérifiez le fonctionnement de chaque appareil de spirométrie et soyez vigilant à l'hygiène (nettoyage à l'eau de javel, changement des embouts buccaux, rangement du matériel en fin de séance). Prévoyez des explications claires de l'utilisation du matériel. Les courbes du manuel (**doc. 3**) permettent de couvrir des pannes éventuelles ou une absence de matériel.

– Une observation de l'appareil pulmonaire humain (écorché démontable) ou d'un autre animal peut servir à rappeler les structures anatomiques connues des élèves. On peut également exploiter le logiciel Pulmo de Pierre Perez: <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/pulmo/pulmo.htm>

– Ne pas oublier l'utilisation du microscope optique, permettant d'observer une coupe histologique de poumon alvéolaire (**doc. 4 et 6**). Avec du temps, on peut faire réaliser un dessin d'observation.

### Exploitation des documents par les activités

① **DOC. 1 À 3** (*Recenser des informations partir de graphiques enregistrés par ExAO et d'un tableau, raisonner*). Grâce à l'augmentation de la fréquence ventilatoire et du volume d'air échangé, le débit ventilatoire augmente. La consommation en dioxygène augmente donc, ce qui couvre les besoins accrus des muscles à l'effort.

② **DOC. 1 ET 2** (*Effectuer des calculs à partir de valeurs d'un tableau*). 20 W :  $0,05 \times 12,8 = 0,64 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ; 160 W :  $0,062 \times 39,4 = 2,44 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ; 240 W :  $0,062 \times 66,6 = 4,13 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ; 360 W :  $0,062 \times 114,6 = 7,1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ .

③ **DOC. 4 ET 6** (*Extraire des informations de photographies*). L'air alvéolaire est séparé du milieu intérieur par la paroi alvéolaire et celle des capillaires. Cette paroi, très fine, représente une vaste surface au travers de laquelle s'effectuent les échanges de dioxygène (et de  $\text{CO}_2$ ): c'est une surface d'échanges.

④ **DOC. 5** (*Extraire des informations d'un tableau et raisonner*). La composition du sang pré-alvéolaire en dioxygène dépend de l'activité de l'organisme. Celle du sang post-alvéolaire ne varie pas. Quel que soit l'effort, la surface d'échanges poumons-sang et les modifications du débit ventilatoire assurent une réoxygénation du milieu intérieur qui couvre les dépenses de l'organisme.

⑤ **EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). L'augmentation du débit ventilatoire et l'existence d'une surface d'échange entre l'air et le sang assurent un apport de dioxygène suffisant pour couvrir les besoins de l'organisme lors d'un effort physique.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<p>« Au cours de l'effort, un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque), [...], pression artérielle. Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié. »</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre un protocole expérimental assisté par ordinateur pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort (<b>doc. 1</b>).</li> <li>• Recenser et organiser des informations à partir de résultats expérimentaux (<b>doc. 1 à 3</b>), d'une IRM (<b>doc. 4</b>), d'un schéma fonctionnel du cycle cardiaque (<b>doc. 5</b>) et d'un schéma structural (<b>doc. 6</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

- La liaison avec les cours d'EPS, une sensibilisation au massage cardiaque, une démonstration du stimulateur cardiaque, un texte sur la découverte de la circulation sanguine par Harvey (**atelier d'exploration « histoire des sciences »** p. 216), une coupure de presse sur un accident cardiaque d'un sportif peuvent servir d'accroche pour cette unité.
- Cette unité repose en grande partie sur des connaissances acquises au collège, qui pourront être mobilisées (programme de la **classe de 5<sup>e</sup>**; voir aussi les **acquis du thème 3** p. 190) : circulation du sang et échanges avec les organes, mise en mouvement du sang dans l'organisme (avec dissection du cœur), augmentation du rythme cardiaque à l'effort avec apport accru de dioxygène et de nutriments aux organes. Le programme de 5<sup>e</sup> parle de rythme cardiaque, tandis que le programme de 2<sup>e</sup> adopte le terme de fréquence cardiaque.
- Un lien pourra également être fait avec l'**enseignement de physique-chimie** (voir dans le thème « santé » du programme de 2<sup>e</sup>, les « signaux périodiques », avec comme exemple un électrocardiogramme).
- L'horaire raccourci nous impose de faire des choix dans le manuel. La dissection du cœur (complétée d'expériences d'injections), trop chronophage, a été volontairement passée sous silence. La liberté pédagogique laissée aux enseignants leur permettra de la réaliser s'ils le souhaitent.
- À noter que plusieurs sites d'académies proposent des dissections du cœur.
- Le logiciel « cœur 2 » (voir l'**atelier d'exploration « informatique »** p. 216) offre une activité intéressante si l'on préfère se passer de l'ExAO.
- La pression artérielle, évoquée ici comme l'un des paramètres physiologiques modifiés à l'effort (**doc. 2**), sera expliquée dans le **chapitre 4 du thème 3**, qui lui est dédié (p. 217).
- Les effets de l'entraînement sur l'activité cardiaque sont abordés dans les **exercices 4 et 6** (pp. 214-215).

## Exploitation des documents par les activités

- 1 DOC. 1 À 3** (*Extraire des informations*). En passant du repos à un effort, la fréquence cardiaque augmente, la pression artérielle s'accroît, de même que le volume d'éjection systolique.
- 2 DOC. 4 ET 5** (*Recenser des informations d'une image médicale et d'un schéma, raisonner*). Le cœur se remplit pendant la diastole générale. La systole auriculaire fait passer le sang vers les ventricules. La systole ventriculaire assure son expulsion vers le reste du corps.
- 3 DOC. 5** (*Comprendre un mécanisme*). Grâce à la fermeture des valves auriculo-ventriculaires, la systole ventriculaire n'induit pas de reflux du sang dans les oreillettes. Grâce à la fermeture des valves artérielles, le sang ne peut pas retomber dans les ventricules et il est conduit dans le reste du corps avant de revenir par les oreillettes au cœur. La circulation du sang à l'intérieur du cœur est donc à sens unique grâce au fonctionnement des valves.
- 4 DOC. 5 ET 6** (*Extraire des informations de schémas et les organiser*). Dans la circulation pulmonaire, le sang arrive dans les poumons par l'artère pulmonaire et repart au cœur par la veine pulmonaire. Le sang arrive dans la circulation générale par l'aorte et revient au cœur par les veines caves.
- 5 DOC. 3, 5 ET 6** (*Adopter une démarche explicative*). L'augmentation synchrone du débit cardiaque et du débit ventilatoire permet l'approvisionnement accru en dioxygène des muscles pendant l'effort : l'appareil respiratoire couvre la consommation accrue de dioxygène, alors que le cœur augmente le transport des gaz respiratoires.
- 6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Au cours d'un effort physique, les fréquences ventilatoire et cardiaque, les volumes des échanges respiratoires et d'éjection systolique et la pression artérielle augmentent. Ces modifications assurent aux muscles qui travaillent un apport accru en dioxygène et en nutriments.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Au cours de l'effort, un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés [...]. Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploiter des données chiffrées et effectuer des calculs (<b>doc. 1</b>).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations à partir d'un tableau (<b>doc. 1</b>), de photographies (<b>doc. 4</b>), d'un schéma fonctionnel (<b>doc. 5</b>).</li> <li>• Être capable d'attitude critique face à l'utilisation d'un modèle (<b>doc. 3</b>).</li> <li>• Être conscient de sa responsabilité face à la santé (<b>exercice 7</b> p. 215).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité s'appuie sur les connaissances acquises dans les deux unités précédentes, tout en les intégrant dans une approche générale. On commence par s'intéresser à la distribution du sang dans les différents organes (**doc. 1 et 2**), grâce à une organisation anatomique particulière (permettant une circulation en parallèle), avant de montrer que ce dispositif est complété par l'existence de sphincters capillaires qui font varier le nombre de capillaires ouverts irrigant les organes (**doc. 5**). Grâce à ce double dispositif, on en déduit comment la répartition du débit sanguin entre les organes lors d'un effort physique peut être modifiée.

– Toute modélisation doit être utilisée avec précaution (**doc. 3**): en effet, l'élève a trop vite tendance à oublier les limites du modèle, qu'il faut lui faire retrouver.

– Dans la mesure du possible, il faudra faire observer le réel par les élèves (ici des préparations de muscles squelettiques où l'on peut voir l'irrigation capillaire: **doc. 4**). La notion de vascularisation d'un muscle est un acquis du collège (programme de la **classe de 5<sup>e</sup>**; voir aussi les **acquis du thème 3** p. 190).

– Suggestions d'activités complémentaires: faire intervenir un spécialiste (cardiologue, médecin du sport, kiné respiratoire...); organiser une visite d'un centre hospitalier spécialisé dans le sport, d'un laboratoire spécialisé dans les problèmes circulatoires et/ou respiratoires; demander un travail de recherche sur les nutriments du muscle.

– Un renvoi pourra être fait vers les **pages métiers** en lien avec le thème 3 « Corps humain et santé: l'exercice physique » du programme: voir p. 254.

– **L'exercice 5** (p. 215), consacré à la vitesse du sang dans différents types de vaisseaux, offre un prolongement intéressant à cette unité.

– **L'exercice 7** (p. 215) permet d'évoquer les liens entre pratique du sport et santé (d'autres aspects seront développés dans les **chapitres 4 et 5 du thème 3**, respectivement p. 231 et 243).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*Réaliser un calcul*). Du repos à l'exercice physique, l'irrigation sanguine des muscles augmente de  $20,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ .

**2 DOC. 1** (*Réaliser un calcul et interpréter des résultats*). Au repos, le pourcentage de débit sanguin traversant les muscles est de  $1,2 \times 100 / 5,8$ , soit 20,68%. Lors d'un exercice physique, ce pourcentage devient:  $22 \times 100 / 25$ , soit 88% du sang qui traverse les muscles. Cette augmentation très importante de débit sanguin dans le muscle permet d'assurer son approvisionnement en nutriments et en dioxygène.

**3 DOC. 2 ET 3** (*Organiser des informations à partir d'un schéma et d'un modèle, raisonner*). Dans un montage électrique en parallèle, la suppression d'une ampoule du circuit n'empêche pas le fonctionnement de la seconde. Ainsi, si le cœur est comparé au générateur et les organes aux ampoules, une modification circulatoire sur un organe ne perturbe pas le fonctionnement des autres organes.

**4 DOC. 4** (*Appliquer des connaissances*). La grande surface de contact entre le sang et les fibres musculaires, la faible vitesse de circulation du sang et la minceur des parois capillaires assurent un apport très efficace de dioxygène et de nutriments aux muscles.

**5 DOC. 5** (*Adopter une démarche explicative*). La fermeture des sphincters des capillaires des muscles au repos et leur ouverture lors d'un effort physique intense (passage de 200 à 2500 ouvertures par unité de surface) explique l'augmentation du débit sanguin dans les muscles lors d'un exercice physique.

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Avec l'augmentation de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique, le débit cardiaque s'accroît. Le flux sanguin dans la circulation générale augmente. Par le jeu des sphincters sur les capillaires, les muscles reçoivent une proportion accrue de ce flux sanguin. Ainsi, au cours d'un exercice physique, les besoins accrus des muscles en dioxygène et en nutriments sont couverts.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La pression artérielle est une grandeur contrôlée [...]. La pression artérielle [est maintenue] dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recenser, extraire et exploiter des informations à partir d'un texte (doc. 3), d'un graphe (doc. 4, 6 et 7) pour montrer que la pression artérielle est une valeur stable et régulée.</li> <li>Pratiquer une démarche scientifique à l'aide d'une modélisation (doc. 5).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Ce chapitre vise à poser les bases de la notion de régulation en physiologie. Il n'est pas question de détailler tous les mécanismes de régulation de la pression artérielle et seule la variation de fréquence cardiaque est étudiée, en prolongement des chapitres précédents.

– Les élèves issus de la classe de 4<sup>e</sup> connaissent le fonctionnement du système nerveux : des récepteurs captent des variations, envoient des messages sensitifs aux centres nerveux qui répondent par des messages moteurs (voir les **acquis** p. 191).

– Dans cette première unité, on commence par définir le terme de pression artérielle (**doc. 1 à 3**). Un lien pourra être fait avec le terme utilisé en pratique médicale de « tension » et l'analyse des deux termes pourra être faite en collaboration avec le professeur de **physique-chimie**.

– Une modélisation avec un système hydraulique est proposée (**doc. 5**) et pourra être accompagnée d'une manipulation, avec un tuyau relié à un évier, qui, bien que très simple, permet aux élèves de fixer des grandeurs physiques qu'ils maîtrisent mal (fréquence, débit, vitesse, pression).

– Les **doc. 6 et 7** montrent que la pression artérielle peut être qualifiée de stable sur la journée, mais qu'elle présente des variations à courte échelle de temps qui sont corrigées quasiment instantanément.

– Afin d'être cohérent avec l'**enseignement de physique-chimie**, on pourra préciser aux élèves les correspondances entre les différentes unités en ce qui concerne les pressions. Le mm de mercure (Hg) est couramment utilisé dans le domaine médical. Le Pascal (Pa) est l'unité du système international. Une pression de 1 Pascal est une force de 1 Newton appliquée sur une surface de 1 m<sup>2</sup>. 1013 hPa = 1,013 bar = 760 mm Hg.

### Exploitation des documents par les activités

① **DOC. 1 À 4** (*Extraire et organiser des informations*). La pression artérielle correspond à la force exercée par le sang sur la paroi d'un vaisseau. Lors d'un cycle cardiaque, qui dure environ 0,8 seconde, la pression artérielle est minimale lors du relâchement du cœur (pression diastolique) et maximale lors de sa contraction (pression systolique).

② **DOC. 5** (*Comprendre une modélisation*). C'est la hauteur du jet qui modélise la pression. On peut donc mesurer une pression en estimant la hauteur d'une colonne de liquide.

③ **DOC. 6 ET 7** (*Saisir des informations de graphes et les mettre en relation*). Lors d'une demi-journée, la pression artérielle reste à peu près stable. La pression diastolique oscille entre 120 et 140 mm Hg et la pression systolique entre 60 et 80 mm Hg. Lorsque le patient se lève, la pression artérielle diminue en quelques secondes, puis revient à sa valeur initiale rapidement. Il existe donc une régulation.

④ **DOC. 5** (*Développer une argumentation*). Lorsque la fréquence cardiaque varie, le débit cardiaque varie également. Donc une variation de fréquence cardiaque induit une variation de pression artérielle.

⑤ **EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Au cours d'une journée, la pression artérielle varie dans un étroit intervalle de valeurs. À plus courte échelle de temps, ses variations (liées au passage assis-debout) sont corrigées. Il existe donc un mécanisme qui permet de maintenir cette grandeur à une valeur stable : on dit qu'elle est régulée.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<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"> <li>• des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ;</li> <li>• un centre bulbaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (cœur) ;</li> <li>• les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques. »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et exploiter des documents historiques relatifs à des travaux expérimentaux pour construire et argumenter un contrôle nerveux de la pression artérielle (<b>doc. 1 à 3</b>).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations à partir d'un schéma (<b>doc. 2 et 4</b>), d'un tableau (<b>doc. 6</b>) et de résultats expérimentaux (<b>doc. 3, 4, 6 et 7</b>).</li> <li>• Pratiquer une démarche scientifique (<b>doc. 1 à 7</b>).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité aborde la boucle réflexe de régulation de la pression artérielle. Une approche historique (**doc. 1 et 3**) est à la portée des élèves, en insistant sur les termes de stimulation et section qui sont souvent mal compris.

– Cette unité repose en partie sur les acquis du collège (**classe de 4<sup>e</sup>**), les centres nerveux ayant déjà été présentés comme des zones d'intégration : dans la partie « Relations au sein de l'organisme », on a établi, pour la commande du mouvement, qu'un message nerveux sensitif est transmis aux centres nerveux par un nerf sensitif, que ce centre nerveux élabore en réponse un message nerveux qui est ensuite transmis par des nerfs moteurs jusqu'aux effecteurs (les muscles squelettiques) (voir **les acquis** p. 191). Tous ces termes vont être mobilisés à nouveau avec un effecteur différent : le cœur.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*S'informer à partir de données expérimentales historiques*). Les expériences de Ludwig et Cyon révèlent que la stimulation d'un nerf provoque une baisse de la pression artérielle. La pression artérielle est donc contrôlée par le système nerveux.

**2 DOC. 2 ET 3** (*Formuler une hypothèse*). Le doc. 3 montre qu'une baisse de la pression artérielle au niveau d'un sinus carotidien innervé induit une augmentation de pression artérielle dans la circulation générale. On peut émettre l'hypothèse que les barorécepteurs situés dans ces sinus sont sensibles à la pression artérielle et envoient vers le bulbe rachidien des messages nerveux sensitifs permettant de corriger les variations de pression artérielle.

**3 DOC. 4 ET 5** (*Raisonnement à partir de données expérimentales*).

Lorsque la pression artérielle dans la crosse aortique est faible, l'activité du nerf relié aux barorécepteurs est faible. Au contraire, si la pression artérielle est élevée, l'activité des nerfs est alors importante. Ainsi, les barorécepteurs détectent la pression qui règne dans la crosse aortique et transmettent un message d'autant plus intense aux centres nerveux que cette pression détectée est élevée. D'après le doc. 5, une fois la variation de pression détectée par les barorécepteurs, elle est corrigée dans l'ensemble de l'organisme : une augmentation de pression au niveau des barorécepteurs induit une diminution de pression dans la circulation générale et inversement. L'hypothèse est validée.

**4 DOC. 6 ET 7** (*Interpréter des résultats expérimentaux et raisonner*). D'après le doc. 6, une augmentation de pression artérielle dans les sinus induit une augmentation de l'activité du nerf parasympathique et une diminution de l'activité du nerf sympathique ; une baisse de pression artérielle entraîne l'effet inverse. D'après le doc. 7, la stimulation du nerf parasympathique entraîne une diminution de la pression artérielle ; en revanche, le nerf sympathique provoque l'augmentation de la pression artérielle. Les nerfs cardiaques parasympathique et sympathique transmettent donc des messages nerveux moteurs vers le cœur qui permettent de corriger les variations de pression artérielle détectée au niveau des sinus.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Le schéma doit comporter : une situation initiale : hausse de la pression artérielle ; un message sensitif de la crosse aortique vers le bulbe rachidien ; un message moteur double : activité intense dans le nerf parasympathique et faible dans le nerf sympathique ; un effecteur : le cœur. Voir le schéma sur le **site Internet du manuel**.

# UNITÉ 3 Activité cardiaque et régulation de la pression artérielle

[pp. 222-223 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres. [... voir unité 2] La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. »	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recenser, extraire et organiser des informations à partir de résultats expérimentaux (<b>doc. 1 et 2</b>).</li><li>• Modéliser le fonctionnement d'une boucle de régulation (<b>doc. 3 et 4</b>).</li></ul>

## Conseils et suggestions

– Dans cette unité, on s'intéresse à l'étape « contrôle nerveux des paramètres cardiaques » de la boucle de régulation. On parle d'activité cardiaque dans les activités car le programme introduit l'idée que le cœur est l'effecteur, par l'intermédiaire de la fréquence cardiaque, mais les documents permettent d'aller plus loin et de mettre en évidence une force de contraction variable, que l'on pourra mettre en relation avec les données sur le volume d'éjection systolique mises en place au chapitre précédent (**doc. 1 et 2**).

– De nombreux logiciels gratuits permettent des animations où un cœur réagit aux sections et stimulations nerveuses. Ils offrent une version dynamique des documents proposés dans le manuel : à titre d'exemple, le logiciel « regnerv » téléchargeable sur le site académique de Créteil ou sur le site académique de Nice : [www.ac-nice.fr/svt/productions/freeware/regulpan/index.htm](http://www.ac-nice.fr/svt/productions/freeware/regulpan/index.htm).

– Tous les acteurs de la boucle de régulation ayant été mis en place, cette unité permet, avec le doc. 3 et 4, d'étudier son fonctionnement. Une modélisation analogique (ou simulation) avec un thermostat est présentée (**doc. 3**) : elle permet d'appréhender la notion de boucle de régulation en général, notion qui sera réinvestie en classe de 1<sup>re</sup> S. Comme pour d'autres exemples dans le manuel, on pourra faire réfléchir les élèves aux limites d'un modèle analogique. Le **doc. 4** se fonde sur l'utilisation d'un logiciel (Sysregul) qui s'applique à la pression artérielle (téléchargeable sur le site : [www.pedagogie.ac-nantes.fr](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr)).

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 2** (*S'informer à l'aide de données expérimentales*). La fréquence cardiaque de l'animal témoin est de 270 battements par minute. La stimulation du nerf sympathique provoque une augmentation de la fréquence cardiaque (de 270 à 330 battements par minute), donc le nerf sympathique a une action d'accélérateur cardiaque. De même, la stimulation du parasympathique provoque un ralentissement du cœur : ce nerf a donc une action de frein. Les sections nerveuses confirment ces premières expériences. La section du parasympathique provoque une accélération. La section simultanée des nerfs parasympa-

thique et sympathique montre que, normalement, au repos, c'est le nerf parasympathique qui a l'activité la plus forte, la fréquence cardiaque étant plus élevée que la valeur témoin. Ces activités nerveuses permettent de réguler la pression artérielle car cette dernière diminue si la fréquence cardiaque diminue, alors qu'elle augmente lorsque la fréquence cardiaque augmente. Les enregistrements (**doc. 2**) permettent de mesurer la fréquence cardiaque : par exemple, pour le nerf parasympathique, on enregistre 10 contractions cardiaques en 5 secondes avant stimulation, soit une fréquence de  $(10 \times 60) / 5 = 120$  battements par minute, puis 14 contractions pendant 12,1 secondes lors de la stimulation, soit une fréquence cardiaque de 69 battements par minute. On remarque aussi que les contractions cardiaques ont une amplitude plus faible : le volume de sang éjecté diminue.

**2 DOC. 3 ET 4** (*S'informer à partir d'un modèle*). Le capteur correspond aux barorécepteurs ; les fils électriques correspondent aux nerfs sensitifs et moteurs, et le radiateur correspond à l'effecteur, le cœur, dont les variations de fréquence induisent des modifications de la pression artérielle.

**3 DOC. 3 ET 4** (*Représenter des informations par un schéma*). Voir le schéma sur le **site Internet du manuel**.

**4 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Quand la valeur de la pression artérielle est supérieure à la valeur de consigne, l'intensité des messages nerveux sensitifs émis par les barorécepteurs en direction du centre bulbaire est plus forte. Les messages nerveux sont intégrés par le centre bulbaire. Il en résulte une augmentation de l'activité du nerf moteur parasympathique et une diminution de l'activité du nerf moteur sympathique. Le frein cardiaque est donc augmenté, tandis que l'accélérateur cardiaque est diminué. Il y a donc une diminution de la fréquence cardiaque, qui provoque une baisse de la pression artérielle. Lorsque la valeur de cette dernière diminue en dessous de la valeur de consigne, la diminution des messages nerveux sensitifs provoque une augmentation de l'activité du nerf moteur sympathique et une diminution de l'activité du nerf moteur parasympathique. Fréquence cardiaque et pression artérielle augmentent. Grâce à cette boucle de régulation, la valeur de la pression artérielle est maintenue en permanence autour de la valeur de consigne.

UNITÉ 1

## Les organes du mouvement et leurs blessures [pp. 232-233 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations tirés de comptes-rendus d'accidents musculo-articulaires (imageries médicales) (doc. 3 et 6).</li> <li>• Recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire (doc. 1 à 6).</li> <li>• Montrer de l'intérêt pour les progrès techniques (doc. 3 et 6).</li> </ul>

### Conseils et suggestions

– Cette unité vise à une présentation des acteurs du mouvement (muscles et os reliés par les tendons). Comme le précise le programme: « 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 ».

– La présentation des acteurs du mouvement se fait au travers de l'étude de quelques blessures classiques chez les sportifs (blessures au tendon d'Achille [doc. 2], déchirures musculaires [doc. 4], fractures ou luxations [doc. 6]), qui permettent de mettre en évidence les différentes structures impliquées et leurs relations anatomiques.

– La **page de gauche** de l'unité a pour objet l'étude du tendon, organe soumis à rude épreuve par la pratique intensive du sprint (doc. 1). Les blessures au niveau du tendon d'Achille (doc. 2) sont étudiées grâce aux nouvelles techniques d'imagerie médicale (IRM) (doc. 3).

– La **page de droite** s'intéresse au muscle et à l'articulation elle-même (doc. 5), par l'entremise de différentes pathologies courantes chez les footballeurs: les déchirures musculaires (doc. 4) et les luxations ou les fractures (doc. 6).

– L'**exercice 6** (p. 241), en lien avec l'histoire des arts, permet de réinvestir les connaissances sur les différents organes du mouvement.

– L'**atelier d'exploration « L'hôpital a besoin de vous »** (p. 242), avec pour point de départ la prise en charge d'une fracture, permettra aux élèves de découvrir quelques métiers du secteur médical et paramédical. D'autres métiers en lien avec le thème 3 du programme « Corps humain et santé: l'exercice physique » sont présentés dans les **pages métiers** en partenariat avec l'ONISEP (p. 254).

– Dans le rabat avant du manuel, on trouvera une **planche anatomique de l'ensemble du système articulo-musculaire**.

### Exploitation des documents par les activités

1 **DOC. 2, 3 ET 5** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). Le tendon d'Achille s'attache sur le calcaneus, un os du pied, c'est pourquoi on l'appelle également tendon calcanéen.

2 **DOC. 1 À 3 ET 5** (*Adopter une démarche explicative*). L'IRM du sprinteur n° 2 met en évidence un gonflement anormal du tendon d'Achille. Ce sprinteur souffre donc d'une tendinite. L'IRM du sprinteur n° 3 met en évidence une rupture du tendon d'Achille. Il est alors incapable de tendre le pied, ce qui indique que ce tendon a pour fonction de relier le muscle du mollet au calcaneus afin de permettre le mouvement du pied.

3 **DOC. 4** (*Recenser et organiser des informations, raisonner*). Les déchirures musculaires légères mal soignées diminuent la puissance de la course, et une déchirure complète rend impossible le mouvement de la jambe. Ces deux observations prouvent que le muscle est un organe impliqué dans le mouvement.

4 **DOC. 5 ET 6** (*Adopter une démarche explicative*). La radiographie de la cheville du footballeur montre une luxation: le tibia et le talus sont déboîtés. Leur mouvement relatif est impossible. On en déduit que l'emboîtement des os au niveau d'une articulation est nécessaire au mouvement.

5 **EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Les tendons, les muscles et les articulations des os sont les organes qui interviennent dans le mouvement. Les tendons relient les muscles aux os et les os s'emboîtent au niveau des articulations.

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« L'organisation d'un muscle est abordée jusqu'à l'identification de la cellule musculaire. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivre un protocole (doc. 1 et 2).</li> <li>• Manipuler et expérimenter (doc. 1 et 2).</li> <li>• Observer une structure à différentes échelles (doc. 1 et 2).</li> <li>• Manifester un sens de l'observation (doc. 2 et 4).</li> <li>• Réaliser un dessin d'observation (doc. 2).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Cette unité s'attache exclusivement à l'étude du muscle. Grâce à l'observation de sa structure à différentes échelles (**page de gauche**), il s'agit de comprendre ses propriétés contractiles, essentielles pour appréhender le mouvement (**page de droite**).

– L'étude d'un organe à diverses échelles est une approche déjà adoptée dans le manuel (voir Thème 1, chapitre 3, pp.42-43) et exigée par le programme. On la retrouve ici avec l'étude des muscles de la grenouille (**doc. 1 et 2**).

– La notion de cellule comme unité du vivant et sa structure sont des acquis de collège, réinvestis dans le thème 1 du programme (voir chapitre 3 p. 39). Avec la fibre musculaire (**doc. 2**), l'élève découvre une cellule jusqu'alors inconnue, qui est allongée, comporte plusieurs noyaux et forme des faisceaux associant plusieurs fibres (voir aussi le schéma du **doc. 3**).

– Des dissections de muscles d'animaux divers sont proposées sur plusieurs sites d'académie.

– Pour le dessin d'observation d'une fibre musculaire, demandé en activité 2, on pourra renvoyer l'élève vers l'**exercice de méthode** (p.253) où le même exemple est repris, avec des conseils de réalisation.

– Dans l'**exercice guidé** (p. 240), l'élève découvrira l'existence de plusieurs types de fibres musculaires, dont les caractéristiques sont sollicitées différemment selon le type de sport.

– Les **doc. 3 et 4** de la page de droite permettent d'appréhender une autre particularité de la fibre musculaire : sa capacité à se contracter, c'est-à-dire à se raccourcir.

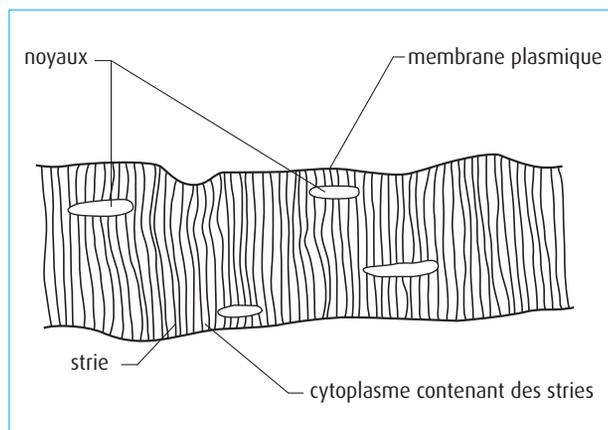
– **Limites du programme** : « Toute étude intracellulaire de la fibre musculaire ou de sa contraction est exclue. La commande de la contraction n'est pas au programme ».

– L'**exercice 7** sur le phénomène de rigidité cadavérique (p.241) et l'**atelier d'exploration « histoire des sciences »** (p.242) sont des prolongements possibles de cette unité.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*Recenser et organiser des informations*). Grâce à l'observation d'une grenouille écorchée, on retrouve : le tendon, les muscles, les os et les articulations, impliqués dans le mouvement du pied de la grenouille.

**2 DOC. 2** (*Réaliser un dessin d'observation*).



**3 DOC. 3** (*Manifester un sens de l'observation*). Un muscle est constitué d'un ensemble de cellules musculaires appelées fibres musculaires. Ces fibres s'associent pour former un faisceau, l'association de plusieurs de ces faisceaux formant le muscle.

**4 DOC. 4** (*Adopter une démarche explicative*). La fibre contractée présente un raccourcissement et un épaississement par rapport à la fibre relâchée. Ce raccourcissement est estimé à environ 25 µm.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Le raccourcissement des cellules musculaires conduit au raccourcissement des faisceaux de fibres, provoquant finalement le raccourcissement de l'ensemble du muscle qui s'épaissit simultanément (contraction musculaire).

# UNITÉ 3 Le système musculo-articulaire, un système mobile

[pp. 234-235 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« 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"> <li>Recenser, extraire des informations et les organiser pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire (doc. 1 à 6).</li> <li>Avoir une bonne maîtrise de son corps.</li> </ul>

## Conseils et suggestions

- Cette unité met à profit la connaissance des structures impliquées dans le mouvement (**acquis des unités 1 et 2**) et s'attache à montrer leurs relations fonctionnelles. Elle permet d'aboutir à l'idée que c'est la contraction des muscles striés squelettiques qui est le moteur de tous les mouvements du corps.

- Il s'agira ici d'illustrer les relations causales entre les différents processus permettant le mouvement. Pour cela, deux types de mouvements sont étudiés : un mouvement de flexion/extension (le jonglage, **doc. 1 à 3**) et un mouvement de rotation (la nage papillon, **doc. 4 et 5**).

- D'autres exemples peuvent bien évidemment être étudiés, en lien avec les centres d'intérêt des élèves : flexion/extension de la jambe (ski, surf), rotation du bras (tennis pour le service et le lift), etc.

- Le rôle des cartilages et de leur lubrification dans le bon fonctionnement du système musculo-articulaire est précisé (**doc. 6**).

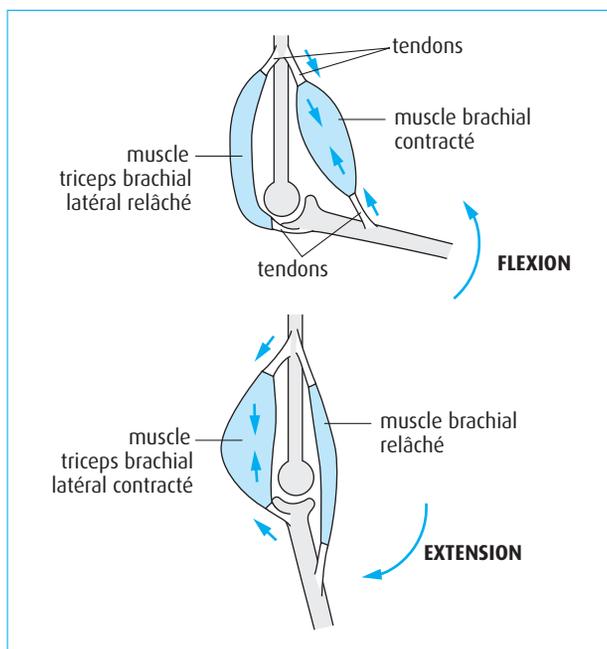
- L'**exercice 5** (p. 241) sur l'entorse de la cheville offre un prolongement intéressant à cette unité, car il montre comment la capacité du mouvement de l'articulation peut être entravée et permet de s'interroger sur le rôle des ligaments, autres organes du mouvement.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1 ET 3** (Recenser et organiser des informations). Lors d'une flexion de l'avant-bras, le muscle brachial doit être contracté alors que le muscle triceps brachial latéral doit être relâché. Lors d'une extension de l'avant-bras, c'est l'inverse.

**2 DOC. 3** (Extraire des informations et raisonner). Les tendons relient les muscles aux os. Ce sont de mauvais élastiques, donc lors du raccourcissement musculaire, le muscle tire sur les tendons qui eux-mêmes tirent sur les os. Les tendons peuvent donc transmettre un mouvement.

**3 DOC. 1 ET 3** (Recenser des informations, réaliser un schéma fonctionnel). Le moteur de la flexion et de l'extension de l'avant-bras est la contraction musculaire.



**4 DOC. 2, 4 ET 5** (Adopter une démarche explicative). L'articulation du coude, du fait de sa structure tridimensionnelle, ne permet que des mouvements squelettiques dans le plan qui contient le bras et l'avant-bras. Seuls les mouvements de type flexion/extension sont réalisables. L'articulation de l'épaule autorise, pour sa part, des mouvements dans toutes les directions de l'espace, ce qui permet la réalisation de mouvements de rotation.

**5 DOC. 6** (Recenser des informations). Le liquide synovial permet de réduire les forces de frottement, ce qui protège la structure articulaire et optimise le mouvement.

**6 EN CONCLUSION** (Communiquer en réalisant une synthèse). La contraction d'un muscle associée au relâchement du muscle antagoniste génère une force qui s'exerce sur le tendon. Celui-ci étant indéformable, il transmet cette force à l'os, qui se déplacera autour d'une articulation.

## UNITÉ 1 Le dopage et ses risques

[pp. 244-245 du manuel de l'élève]

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
« Des pratiques inadaptées ou dangereuses ([...] dopage...) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents. »	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraire et exploiter des informations pour :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- comprendre la différence entre l'usage thérapeutique d'une molécule et l'usage détourné qui peut en être fait (doc. 2 et 6);</li> <li>- comprendre l'effet sur la santé des sportifs d'une pratique de dopage (doc. 1, 3, 4, 7).</li> </ul> </li> </ul>

### Conseils et suggestions

Cette unité permet, à partir de deux exemples de produits dopants (stéroïdes et corticoïdes), de comprendre d'une part comment des molécules naturelles utilisées pour soigner peuvent être détournées de leur fonction pour se doper et d'autre part quels sont les différents effets de ces pratiques de dopage. L'unité vise à montrer que malgré, des gains de performance indéniables, l'utilisation de ces molécules finit systématiquement par fragiliser le système musculo-articulaire.

- Seuls les exemples de la testostérone (doc. 1 à 5) et des corticoïdes (doc. 6 et 7) sont traités ici, afin d'envisager le plus complètement possible les effets recherchés dans le cadre d'un dopage et les multiples pathologies associées. Ces exemples pourront être complétés par quelques unes des très nombreuses molécules utilisées dans le dopage (cf. *Le dictionnaire du dopage*, Masson, et les informations disponibles sur Internet, notamment sur [www.irbms.com](http://www.irbms.com)).

### Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*S'informer à partir d'une photographie*). Les modifications de la musculature de l'athlète, entre 1984 et 1988, lui donnant un aspect très masculin, ainsi que l'amélioration spectaculaire de ses performances suggèrent l'utilisation d'un produit dopant.

**2 DOC. 2 ET 3** (*Exploiter des graphiques et des tableaux*). Deux effets biologiques extraits du doc. 2 peuvent paraître intéressants pour améliorer les performances : l'augmentation de la masse musculaire (effet anabolisant) et l'augmentation de l'agressivité. Les résultats de l'expérience du doc. 3 montrent, dans le groupe sous testostérone, une augmentation, en 10 semaines, de la section du quadriceps 4 fois supérieure à celle du groupe témoin qui a reçu un placebo. Cette expérience vient illustrer de façon significative l'effet anabolisant de la testostérone.

**3 DOC. 2 À 6** (*Extraire et organiser des informations, raisonner*). Un tableau peut être proposé comme réponse.

	Effet thérapeutique	Effet dopant
Testostérone	Traitement d'anomalies de la puberté Traitement de l'affaiblissement de l'organisme	Augmentation de la masse musculaire
Corticoïdes	Anti-inflammatoires	Euphorie Suppression de la sensation de fatigue

Il apparaît que les effets recherchés dans le dopage sont souvent très différents des effets thérapeutiques.

**4 DOC. 3, 4 ET 6** (*Adopter une démarche explicative*). L'augmentation de masse musculaire combinée à la fragilisation des tendons peut conduire à des ruptures tendineuses lors d'efforts trop importants. L'effet antalgique des corticoïdes peut encore aggraver ces risques d'accidents puisque le sportif ne perçoit plus le signal de danger.

**5 DOC. 6 ET 7** (*Extraire des informations et raisonner*). La fragilisation des os sous corticoïdes peut conduire, lors de mouvements de chocs répétitifs, à des fractures de fatigue. L'effet antalgique des corticoïdes augmente le risque.

**6 EN CONCLUSION** (*Communiquer à l'aide d'un tableau*).

	Effet recherché	Dangers
Testostérone	Augmentation de la masse musculaire	Arrêt de croissance, réduction de la taille testiculaire, ruptures tendineuses, risques accrus de cancers et d'accidents cardiaques
Corticoïdes	Euphorie Suppression de la sensation de fatigue	Fragilité osseuse et tendineuse. Troubles du comportement

Connaissances du programme	Capacités et attitudes mises en œuvre dans l'unité
<p>« Des pratiques inadaptées ou dangereuses (exercice trop intense [...]) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents. »</p> <p>« Un bon état cardiovasculaire et ventilatoire est indispensable à la pratique d'un exercice physique. »</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir déterminer comment se livrer à un exercice physique dans de bonnes conditions de santé (doc. 1 à 4).</li> <li>• Exercer sa responsabilité en matière de santé (doc. 5 à 7).</li> </ul>

## Conseils et suggestions

– Après avoir mis en évidence les dangers associés au dopage (**unité 1**), cette unité vise à montrer qu'il est possible de réaliser une activité sportive, même à haut niveau, dans de bonnes conditions de santé.

– Cette unité aborde également le dernier alinéa du paragraphe « Des modifications physiologiques à l'effort » du programme, sous-jacent au chapitre 2 du thème 3 (voir l'exercice 7 p. 215 du manuel et p. 53 du livre du professeur), afin de proposer un ensemble cohérent autour d'une pratique responsable du sport.

– L'ensemble des documents de l'unité permet de couvrir les différents aspects d'une bonne pratique du sport: bon état cardio-respiratoire (**doc. 1**), échauffement permettant de mettre le système musculaire et le corps à température optimale pour un bon fonctionnement des muscles, tendons et articulations (**doc. 2 et 3**), programmes d'entraînement réfléchis et adaptés à la physiologie de chacun (**doc. 4 à 7**).

– Cette étude pourra être enrichie par le vécu sportif des élèves de la classe et par une collaboration étroite avec les enseignants d'EPS. Les **programmes d'EPS** au lycée font en effet régulièrement appel aux mêmes capacités et attitudes que celles déclinées dans cette unité.

– Les **exercices 6 et 7** du chapitre (p. 251) sont en lien direct avec cette unité.

## Exploitation des documents par les activités

**1 DOC. 1** (*Recenser, extraire et organiser des informations*). La réalisation d'un effort physique s'accompagne d'une augmentation des paramètres respiratoires et cardiaques afin d'alimenter suffisamment les muscles en O<sub>2</sub> et nutriments. Il faut donc s'assurer auprès d'un médecin que le système cardio-respiratoire est capable de soutenir cet effort.

**2 DOC. 2 ET 3** (*S'informer à partir d'un graphique et d'une photographie*). Le graphe montre une bonne corrélation entre la température musculaire et les performances au 100 m. Cela s'explique car les muscles atteignent leur maximum d'efficacité lorsque la température augmente. Cette élévation de température peut être complétée par des mouvements d'assouplissement, illustrés dans le doc. 2, qui permettent de mobiliser correctement les articulations.

**3 DOC. 4** (*Analyser un graphique*). On observe que globalement les blessures sont plus nombreuses à la fin de chaque mi-temps, ce qui peut être attribué à la fatigue accumulée. On observe également que les blessures sont plus nombreuses en début de 2<sup>e</sup> mi-temps, ce qui peut être attribué à l'absence d'un nouvel échauffement au début de la mi-temps. Par ailleurs, le nombre plus élevé de blessures lors d'un match que lors d'un entraînement suggère que l'intensité de l'exercice augmente le risque de blessure.

**4 DOC. 5 À 7** (*Extraire des informations de plusieurs documents pour identifier une pratique sportive dans de bonnes conditions*). L'extrait du projet d'élève s'inscrit clairement dans les recommandations du document de référence. Le nombre de séries, le nombre de répétitions et le % de charge maximale permettront une hypertrophie musculaire qui correspond à son projet. L'échauffement et les étirements spécifiques permettront de réaliser cet entraînement sans risquer des blessures musculaires ou articulaires.

**5 EN CONCLUSION** (*Communiquer en rédigeant une synthèse*). Pour pratiquer une activité sportive en toute sécurité, il faut s'assurer que son état de santé est adapté, réaliser un échauffement qui amène les muscles et les articulations à des conditions optimales et adapter sa pratique sportive à sa physiologie et à sa condition physique pour éviter tout risque d'accident.



# EXERCICES DU THÈME 3

Les corrigés des exercices des rubriques « *Évaluer ses connaissances* » et « *S'entraîner avec un exercice guidé* » se trouvent à la fin du manuel (p. 256).

## Chapitre 1

[p. 203 du manuel]

### ⑤ LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE D'UN JUDOKA

*Calculer et communiquer.*

#### Réponses attendues:

1. Bicyclette, effort moyen pendant 20 min :

$$\text{Dépense} = 7 \times 65 \text{ kg} \times 20 \text{ min} / 60 \text{ min} = 151,7 \text{ kcal}$$

Judo, pendant 1 h 30 :

$$\text{Dépense} = 10 \times 65 \text{ kg} \times 90 \text{ min} / 60 \text{ min} = 975 \text{ kcal}$$

Bicyclette, effort léger pendant 24 min :

$$\text{Dépense} = 4 \times 65 \text{ kg} \times 24 \text{ min} / 60 \text{ min} = 104 \text{ kcal}$$

La dépense totale de ce judoka est donc la somme de ces trois dépenses, soit :  $151,7 + 975 + 104 = 1230,7 \text{ kcal}$

Soit, exprimée en kJ :  $1230,7 \times 4,18 = 5144,3 \text{ kJ}$

2. On considèrera que les glucides comme les lipides apportent la moitié de cette énergie, soit environ 2572,2 kJ.

La consommation de glucides est donc :

$$C_g = 2572,2 / 17,8 = 144,5 \text{ g qui s'accompagne d'une consommation d'O}_2 \text{ de } 144,5 \times 0,8 = 115,6 \text{ L.}$$

La consommation de lipides est de :

$$C_l = 2572,2 / 40 = 64,3 \text{ g, qui s'accompagne d'une consommation d'O}_2 \text{ de } 64,3 \times 2,04 = 131,2 \text{ L.}$$

Au total, le volume totale d'O<sub>2</sub> consommé par ce judoka est :  $VO_2 = 131,2 + 115,6 = 246,7 \text{ L d'O}_2$

### ⑥ L'ALIMENTATION DES SPORTIFS D'ENDURANCE AVANT UNE COMPÉTITION

*Extraire et organiser des informations.*

#### Réponses attendues:

1. Le glycogène est une réserve de nutriments de nature glucidique. Au cours d'un exercice physique, il assure au muscle un bon approvisionnement en glucose qui permettra, par dégradation lors de la respiration, de produire de l'énergie.

2. Sur le doc. 1, pour les deux régimes alimentaires, on observe une chute brutale du stock de glycogène musculaire lors de chaque séance d'entraînement. Ce stock se reconstitue différemment selon le régime alimentaire : en 24h, un régime riche en glucides restaure la réserve en glycogène presque intégralement, tandis qu'un régime pauvre en glucides ne recharge cette réserve que très faiblement. On en déduit que l'apport de glycogène musculaire est conditionné par l'alimentation glucidique. La consommation de glycogène musculaire est en revanche conditionnée par l'exercice physique, lors duquel le muscle puise dans ses réserves pour satisfaire ses besoins en glucose.

3. Le doc. 2 montre une augmentation importante du stock

de glycogène musculaire, de 80 mmol.kg<sup>-1</sup> à 200 mmol.kg<sup>-1</sup> au fil de la « semaine de surcharge ».

Ce phénomène peut s'expliquer par le suivi d'un régime riche en glucides, qui augmente l'apport en nutriments, et par une cadence d'entraînement plus faible, qui diminue la dépense énergétique donc la consommation de nutriments.

4. Le doc. 3 révèle que le temps d'épuisement lors d'un exercice intense (75% de VO<sub>2</sub> max) augmente avec le stock de glycogène musculaire initial : il passe de 60 min pour un stock de glycogène de 50 mmol.kg<sup>-1</sup> à 175 min pour un stock 4 fois plus élevé. Pour un sportif, l'intérêt d'une « surcharge en glycogène » est donc de retarder le moment de l'épuisement et donc d'améliorer ses performances lors de la compétition.

## Chapitre 2

[p. 215 du manuel]

### ⑤ VITESSE DU SANG ET APPROVISIONNEMENT DES MUSCLES

*Mettre en relation des données et raisonner.*

#### Réponses attendues:

1. On observe une diminution régulière de la vitesse du sang au fil du trajet du sang dans les artères, de l'aorte (32 cm.s<sup>-1</sup>) jusqu'aux capillaires (1 cm.s<sup>-1</sup>). Cette diminution est étroitement liée à l'augmentation de la section totale des vaisseaux (de 32 cm<sup>2</sup> pour l'aorte à 2800 cm<sup>2</sup> pour les capillaires). Ce phénomène s'inverse ensuite, au cours du trajet veineux : la vitesse du sang augmente à nouveau tandis que la surface de section des vaisseaux diminue. Ce phénomène s'explique de la manière suivante : un ensemble de vaisseaux dont la section totale est grande présente un volume total plus important. Un certain volume de sang arrivant dans un volume plus grand (dans un réseau de capillaires, par exemple) voit sa vitesse d'écoulement diminuer.

2. Dans les réseaux de capillaires musculaires, l'augmentation de la section de vaisseaux équivaut à l'augmentation de la surface d'échange, et entraîne une baisse importante de vitesse du sang : ces deux phénomènes favorisent les échanges entre le sang et le muscle, et améliorent l'approvisionnement de ce dernier en nutriments et en dioxygène.

### ⑥ LES EFFETS DE L'ENTRAÎNEMENT SUR LE CŒUR

*Saisir des données, réaliser un calcul dans un but explicatif.*

#### Réponses attendues:

1. Chez les 3 individus, on observe que l'augmentation du volume d'éjection systolique suit celle de la consommation de dioxygène. Plus l'effort requiert de dioxygène, plus le volume systolique est important. Celui-ci atteint des valeurs plus importantes selon le degré d'entraînement du sujet : le volume systolique maximal de l'athlète est proche de 160 mL, supérieur à celui du lycéen entraîné (106 mL), lui même supérieur à celui du lycéen non entraîné (88 mL).

2. Le débit cardiaque est le produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique. Pour une consommation de dioxygène de  $2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , on calcule :

– Pour l'athlète :  $D = 144 \cdot 10^{-3} \times 100 = 14,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

– Pour le lycéen entraîné :  $D = 99 \cdot 10^{-3} \times 148 = 14,6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

– Pour le lycéen non entraîné :  $D = 88 \cdot 10^{-3} \times 178 = 15,7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

3. On constate que, pour une consommation de 2 L de dioxygène par minute, le débit cardiaque du sportif est proche de celui des autres sujets, malgré une fréquence cardiaque moindre. Le cœur d'un sujet entraîné doit donc fournir un travail moindre pour satisfaire une consommation de dioxygène donnée. Un sportif entraîné dispose alors d'une marge de performance cardiaque qui lui permettra de fournir un effort d'intensité plus élevée pendant plus longtemps.

### 7 TROUBLES CARDIAQUES ET PRATIQUE DU SPORT

*Mobiliser ses connaissances et raisonner.*

#### Réponses attendues :

1. Les valves auriculo-ventriculaires sont situées entre les oreillettes et les ventricules. Leur mauvaise fermeture entraîne un reflux sanguin partiel du sang des ventricules vers les oreillettes lors de la systole ventriculaire. Ainsi, le volume d'éjection systolique diminue.

2. Une activité physique intense nécessite un débit cardiaque élevé. La baisse du volume d'éjection systolique chez les porteurs d'une telle malformation va provoquer une augmentation dangereuse de la fréquence cardiaque pour maintenir un débit cardiaque suffisant. Pratiquer une activité physique intense présente donc un danger pour le cœur d'un sujet porteur de cette anomalie.

## Chapitre 3

[p. 227 du manuel]

### 5 DES CAPTEURS DE PRESSION DANS LES ARTÈRES CAROTIDIENNES

*Saisir des informations issues d'un graphique dans un but argumentatif.*

Cet exercice réinvestit les notions acquises dans l'unité 2 sur le baroréflexe, la localisation des barorécepteurs et leur rôle dans la boucle de régulation étudiée dans le chapitre.

#### Réponses attendues :

1. Lorsque la pince est appliquée sur l'artère carotide, la pression carotidienne diminue légèrement. Dans le même temps, la pression artérielle moyenne subit une augmentation de plus de 20 mm Hg. Lorsque la pince est retirée, la pression artérielle carotidienne augmente à nouveau puis retrouve son niveau initial. Au même moment, la pression artérielle moyenne diminue pour revenir, également, à sa valeur initiale. Les variations de pression artérielle moyenne au niveau de la patte sont donc liées aux variations de la pression artérielle carotidienne provoquées par la pince.

2. Toute variation de pression au niveau des sinus carotidiens engendre une variation de la pression artérielle moyenne. Au niveau des carotides, il existe donc nécessairement des capteurs de pression artérielle. Ce sont des barorécepteurs.

3. Les barorécepteurs sont sensibles à la valeur de la pression artérielle. Lors d'une variation de celle-ci, les barorécepteurs génèrent une information sensitive, transmise au bulbe rachidien. Des centres nerveux émettent en retour une réponse motrice vers le cœur : la fréquence cardiaque est ajustée, ce qui corrige la pression artérielle.

### 6 LE RÔLE DU BULBE RACHIDIEN DANS LA RÉGULATION DE LA PRESSION ARTÉRIELLE

*Organiser des informations et raisonner.*

#### Réponses attendues :

1. Le bulbe rachidien est une zone du cerveau qui reçoit les informations sensibles émises par les barorécepteurs, les intègre et émet en retour une réponse motrice vers le cœur pour ajuster la fréquence cardiaque et corriger ainsi la pression artérielle. Dans le cas A, sans inhibition de la région bulbaire étudiée (témoin), l'augmentation expérimentale de la pression artérielle entraîne bien une diminution de l'activité du nerf sympathique et une diminution de la fréquence cardiaque. Dans le cas B, lorsque l'activité de cette zone du bulbe est inhibée, l'activité du nerf sympathique ne varie pas de façon significative suite à l'action expérimentale, ni a fortiori la fréquence cardiaque. En conditions normales, cette région bulbaire est donc celle qui émet la réponse motrice vers le cœur en modulant l'activité des nerfs sympathique et parasympathique : lorsque la pression artérielle augmente, comme c'est le cas dans cette expérience, le bulbe commande bien une diminution de la fréquence cardiaque pour corriger à la baisse la pression artérielle.

## Exercice de méthode

[p. 229 du manuel]

#### Réponses attendues :

1. On observe, pendant la durée de la stimulation, une diminution de l'amplitude des contractions cardiaques et une diminution de leur fréquence.

2. Avant la stimulation, on compte 10 contractions en 5 secondes, soit une fréquence de 120 contractions par minute. Pendant la stimulation, on compte 14 contractions en 12,1 secondes, soit une fréquence de 69 contractions par minute. La stimulation du nerf parasympathique diminue donc la fréquence cardiaque de 120 à 69 contractions par minute.

3. L'activité du nerf parasympathique a pour effet de modérer la fréquence cardiaque. Lors d'une augmentation de pression artérielle, son activité est augmentée par le bulbe rachidien. La baisse de fréquence cardiaque qui en résulte permet de corriger à la baisse la pression artérielle. Au contraire, lorsque la pression artérielle augmente, le nerf parasympathique est inhibé, ce qui favorise l'augmentation de la fréquence cardiaque.

## Chapitre 4

[p. 241 du manuel]

### 5 L'ENTORSE DE LA CHEVILLE

*Observer et formuler une hypothèse*

Cet exercice demande à l'élève de caractériser un type de blessure non vu dans les unités – l'entorse – en mobilisant les

# EXERCICES DU THÈME 3

acquis de l'unité 3 concernant le rôle d'une articulation dans le mouvement.

## Réponses attendues :

1. L'entorse est une blessure du système articulaire qui fait suite à un mouvement de torsion excessif de l'articulation. Elle se traduit par la déchirure partielle d'un ou de plusieurs ligaments et entraîne l'impossibilité pour les os de réaliser leur mouvement naturel.

2. Comme le montre le doc. 2, les ligaments sont toujours fixés par leurs extrémités à deux os différents. On peut penser qu'ils ont pour rôle de solidariser ces os et, lors du mouvement, de leur permettre de se déplacer l'un par rapport à l'autre sans se déboîter.

## ⑥ DESSIN ANATOMIQUE ET MOUVEMENT

*Manifester un sens de l'observation*

### Réponses attendues :

1. 1: muscle; 2: tendon; 3: os; 4: os; 5: tendon; 6: muscle.

2. a: coude (flexion-extension); b: épaule (rotation); c: poignet (flexion-extension et rotation); d: genou (flexion-extension).

## ⑦ LA RIGIDITÉ CADAVÉRIQUE

*Extraire des informations et raisonner*

On réinvestit ici les connaissances acquises dans l'unité 2 sur la structure et les propriétés du muscle.

### Réponses attendues :

1. Le texte mentionne les protéines, qui sont des molécules de grande taille. Il évoque les fibres musculaires, cellules de base d'un muscle, et, bien sûr, le muscle, organe du mouvement.

2. Le phénomène de rigidité cadavérique n'intervient que 3 ou 4 heures après la mort et disparaît 24 heures plus tard. Si ce phénomène est observé dans les muscles d'une personne décédée, on peut donc estimer avec certitude que sa mort remonte à plus de 3 heures, mais à moins de 28 heures.

## Chapitre 5

[p. 251 du manuel]

## ⑥ UN CAS DE DOPAGE CHEZ LES CYCLISTES

*Extraire et exploiter des informations*

### Réponses attendues :

1. Des performances surprenantes lors du tour de France 2006 pouvaient être à l'origine de soupçons. Ces soupçons ont été renforcés par la détection d'une quantité anormale-

ment élevée de testostérone dans ses urines.

2. La testostérone est une hormone naturellement produite par le corps. Détournée de son utilisation médicale, elle permet d'améliorer certains paramètres physiques comme la masse musculaire ou l'endurance.

## ⑥ DES BLESSURES CHEZ LES GYMNASTES

*Exploiter des données statistiques*

### Réponses attendues :

1. Une sollicitation importante des muscles lors des mouvements parfois violents de gymnastique peut entraîner des accidents musculaires. Les réceptions de sauts, les équilibres et les mouvements d'assouplissement extrême sont, eux, à l'origine de blessures des articulations (entorses), des tendons (tendinites). Les faux mouvements ou les chutes, parfois violentes, peuvent entraîner des fractures.

2. On peut supposer que les professionnels réalisent des échauffements de qualité qui protègent correctement leurs muscles et leurs articulations lors des entraînements et des compétitions, contrairement aux amateurs.

## ⑦ SPORT VIRTUEL, BLESSURES RÉELLES

*Formuler une hypothèse*

### Réponses attendues :

1. La pratique des jeux vidéo mentionnés s'accompagne d'une répétition importante de mouvements qui sollicitent de façon importante le système musculo-articulaire. Une faible activité sportive et l'absence d'échauffement sont alors deux facteurs de blessures.

2. On peut supposer que ce type de mouvements répétés, sans mise à température des tendons, entraîne essentiellement des tendinites.

## Exercice de méthode

[p. 253 du manuel]

### Réponses attendues :

1. Voir schéma sur le **site Internet du manuel**.

2. Trois structures sont communes à toutes les cellules animales: la membrane plasmique, le cytoplasme et un noyau contenant l'information génétique.

3. On observe, dans une seule cellule musculaire striée, plusieurs noyaux contenant l'information génétique. Cet argument suggère qu'une cellule musculaire se forme par la réunion de plusieurs cellules.