



SVT

PROGRAMME 2010

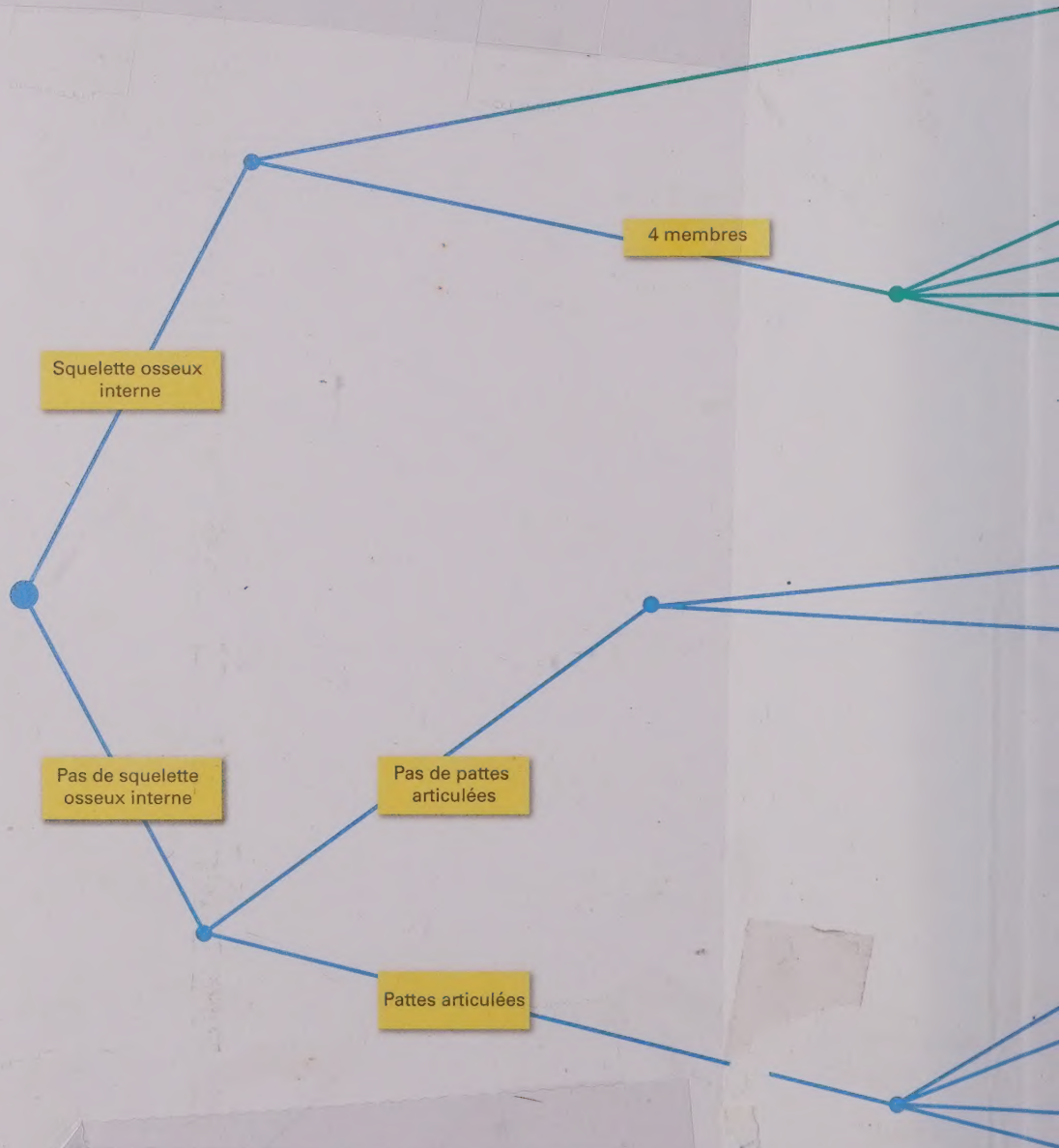
Sous
la direction
de Pierre Peycru

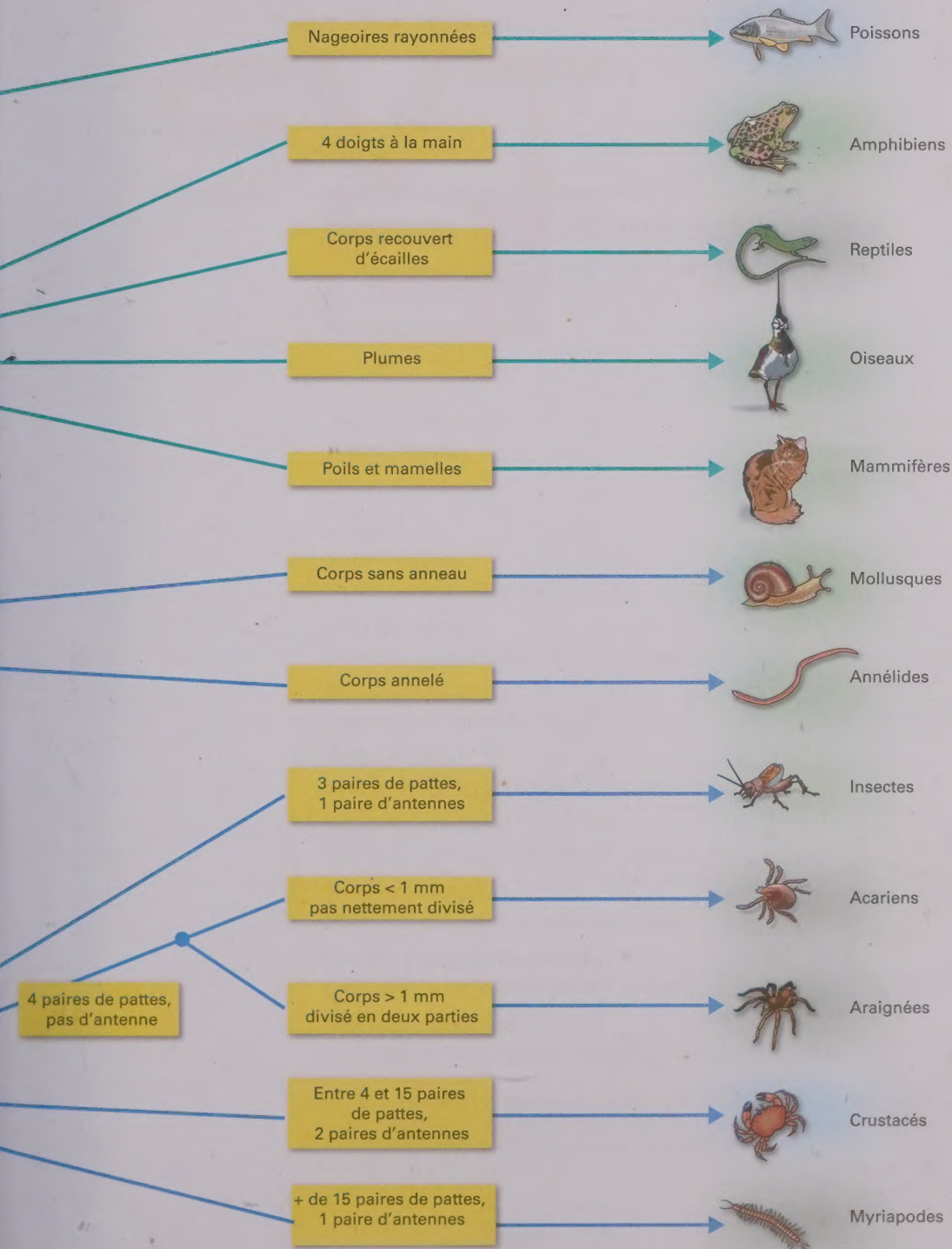
2^{de}

Sciences de la Vie et de la Terre

**SITE COMPAGNON
DU MANUEL**
www.svt-hatier.com

Clé de détermination des animaux





SVT

2^{de}

Sciences de la Vie et de la Terre

Sous la direction de
Pierre Peycru

Manuel interactif
Françoise Jauzein
Guy Ménant

Auteurs

Anne Cynober

Professeur au lycée Michelet, Vanves

Yves Darbarie

Professeur au lycée Gustave Eiffel, Bordeaux

Christelle Guilloux

Professeur au lycée Victor Louis, Talence

Hélène Hervé,

Professeur au lycée Dumont d'Urville, Maurepas

Amandine Lazarini

Professeur au lycée Gustave Eiffel, Bordeaux

François Maricourt

Professeur au lycée Pape Clément, Pessac

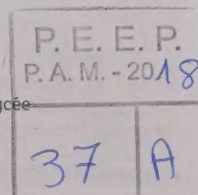
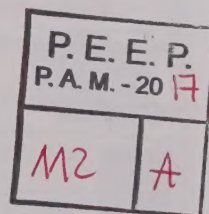
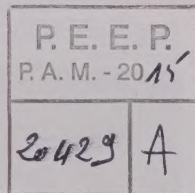
Laurence Orcival-Puymartin

Professeur au lycée Pape Clément, Pessac

Stéphane Serpeaud

Professeur au lycée François Magendie, Bordeaux

Les auteurs remercient **Isabelle Bednarek-Maitrepierre**, professeur au lycée Aristide Briand à Saint-Nazaire, et **Bruno Semelin**, professeur au lycée du Pays de Retz à Pornic, pour leur relecture critique du manuscrit.



HATIER

PRÉSENTATION DU MANUEL

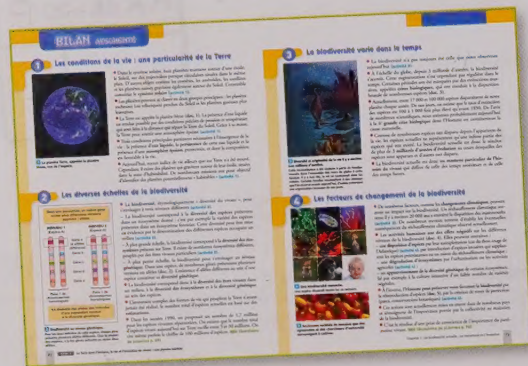
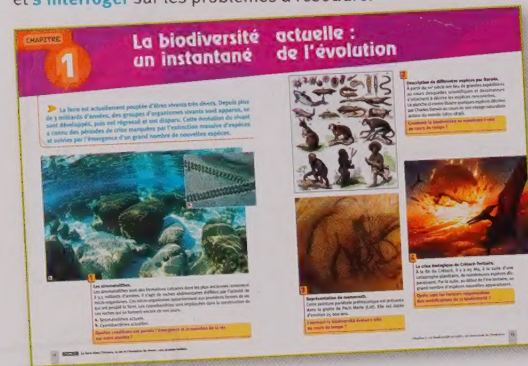
■ Ouverture du thème

- En relation avec l'enseignement de l'histoire des arts, des œuvres pour illustrer les notions essentielles du thème.
- Une courte présentation des œuvres et des artistes.



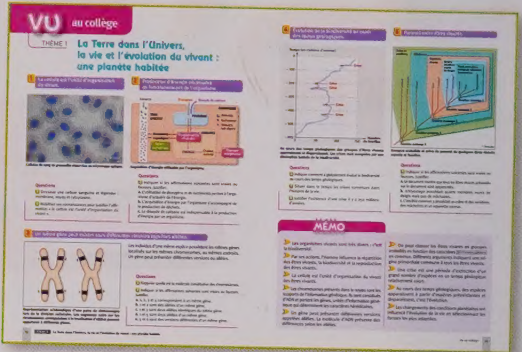
■ Entrée de chapitre

- Quelques documents pour illustrer la problématique du chapitre et s'interroger sur les problèmes à résoudre.



■ Vu au collège

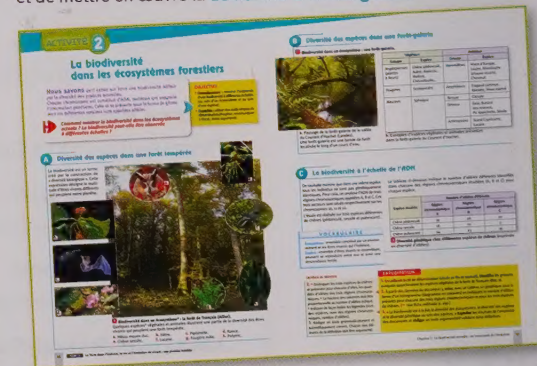
- Remobiliser les acquis qui sont utilisés dans le thème à l'aide de documents à analyser et d'un court résumé.



■ Activités

Dans chaque activité :

- Le thème de l'activité,
- Les objectifs soulignant les connaissances et les capacités mises en œuvre,
- Le problème à résoudre,
- Des documents avec leur clé de lecture pour observer et analyser,
- Une exploitation des documents permettant d'argumenter et de mettre en œuvre la démarche d'investigation.

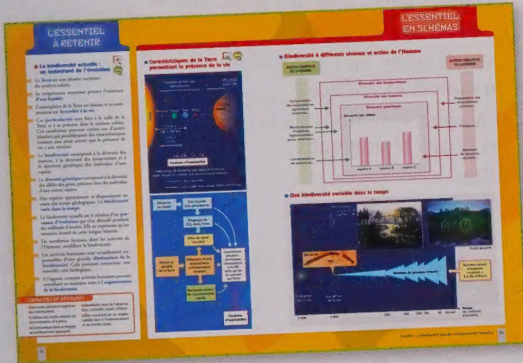


■ Bilan argumenté

- Les notions essentielles des activités expliquées.
- Des documents complémentaires avec une légende explicative.

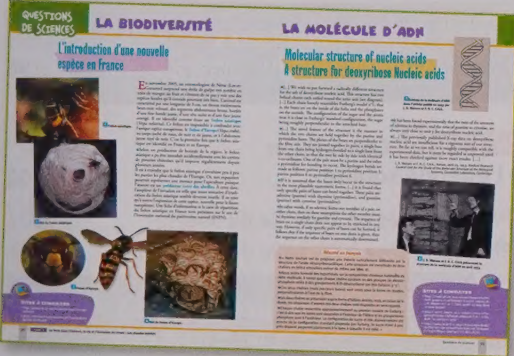
L'essentiel

- Les **connaissances exigées** par le programme sous la forme d'un **texte** et de **schémas bilans**.



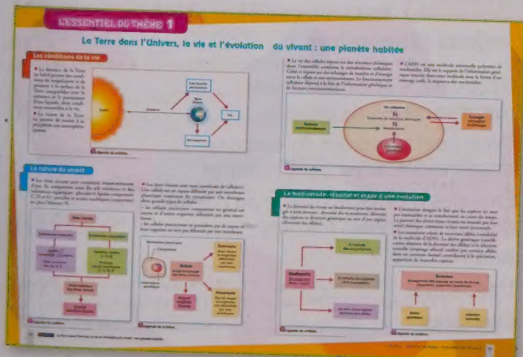
Questions de sciences

- Extraits ou résumés d'articles de revues scientifiques ou de journaux : un **complément** et une **ouverture** sur les notions essentielles abordées dans le thème.
- Des extraits sont proposés en **langue anglaise**.



L'Essentiel du thème

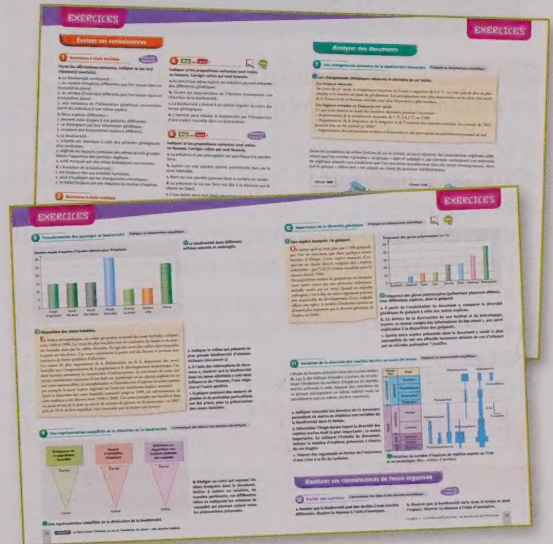
- Insister** sur les **acquis fondamentaux** nécessaires dans les classes suivantes. Un court **résumé** accompagné de **schémas bilans simples**.



Exercices

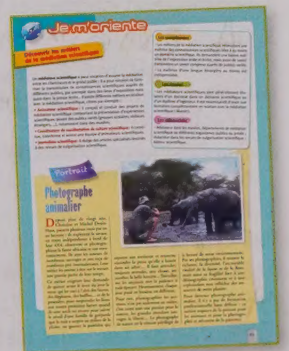
Ils sont présentés sous la forme de trois rubriques :

- Évaluer ses connaissances** : évaluation ciblée et rapide.
- Analyser des documents** : compléter l'entraînement à la démarche déjà impliquée dans les activités.
- Restituer ses connaissances de façon organisée** : s'entraîner à une épreuve de type baccalauréat.



Je m'oriente

- Repérer de grands secteurs d'**activités professionnelles** avec leurs **études** et leurs débouchés.
- En relation avec le thème, **présentation d'un parcours professionnel** sous la forme d'un portrait ou d'un interview.



Ces pictogrammes signalent un contenu interactif dans le Manuel interactif :

- Vidéo
- Schéma interactif
- Animation
- Exercice interactif
- Document alternatif
- Fichier logiciel
- Texte sonorisé

: ce pictogramme signale que les contenus interactifs sont disponibles sur le site www.svt-hatier.com.

SOMMAIRE

Présentation du manuel	2
Programme	6

THÈME 1 La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée

CHAPITRE 1 La biodiversité actuelle : un instantané de l'évolution

1. Les conditions de la vie, une particularité de la Terre	14
2. La biodiversité dans les écosystèmes forestiers	16
3. Des changements de la biodiversité au cours du temps	18
4. L'Homme et la biodiversité	20
Bilan	22
L'essentiel	24
Exercices	26

CHAPITRE 2 L'unité structurale et chimique du vivant

1. Organisation des êtres vivants	32
2. Organisation interne des Vertébrés	34
3. Organisation des êtres vivants à l'échelle cellulaire	36
4. Ultrastructures et parenté à l'échelle cellulaire	38
5. Composition et unité chimique des êtres vivants	40
Bilan	42
L'essentiel	44
Exercices	46

CHAPITRE 3 Facteurs de l'organisation et du fonctionnement cellulaires

1. L'activité respiratoire des levures et son contrôle génétique	52
2. Influence de la nature du milieu sur le métabolisme des levures	54
3. L'ADN, molécule universelle, support de l'information génétique	56
4. La structure moléculaire de l'ADN	58
5. Nature du message porté par l'ADN	60
Bilan	62
L'essentiel	64
Exercices	66

CHAPITRE 4 Les forces évolutives à l'origine de la biodiversité

1. Diversité génétique des populations	72
2. La dérive génétique	74
3. La spéciation ou l'apparition de nouvelles espèces	76
4. D'amples variations de la biodiversité : les crises biologiques	78
Bilan	80
L'essentiel	82
Exercices	84

QUESTIONS DE SCIENCES

JE M'ORIENTE

L'essentiel du thème 1

THÈME 2 Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol

CHAPITRE 5 Conversion de l'énergie solaire

1. Photosynthèse à l'échelle du végétal	102
2. Photosynthèse à l'échelle de la planète	104
3. Fossilisation de l'énergie solaire	106
4. L'énergie solaire : moteur des enveloppes fluides	108
Bilan	110
L'essentiel	112
Exercices	114

CHAPITRE 6 Ressources énergétiques et enjeux planétaires

1. Découverte et exploitation des gisements de pétrole	120
2. Cycle contemporain du carbone et sa modification par l'Homme	122
3. Énergies d'origine solaire en complément des combustibles fossiles	124
Bilan	126
L'essentiel	128
Exercices	130

CHAPITRE 7 Culture des sols
et concurrence avec la biodiversité 134

- 1. L'Homme détourne la biomasse
à son profit 136
- 2. Pratiques agricoles et environnement 138
- 3. Sols cultivables et eau : deux ressources
fragiles et inégalement réparties 140
- Bilan** 142
- L'essentiel** 144
- Exercices** 146

CHAPITRE 8 Le sol : une ressource fragile ... 150

- 1. Caractéristiques d'un sol 152
- 2. Les conditions de formation d'un sol 154
- 3. Le sol : une ressource fragile à préserver 156
- Bilan** 158
- L'essentiel** 160
- Exercices** 162

QUESTIONS DE SCIENCES 166

JE M'ORIENTE 171

L'essentiel du thème 2 172

THÈME 3 Corps humain et santé :
l'exercice physique 174

CHAPITRE 9 Exercice physique
et dépense énergétique 178

- 1. La dépense énergétique
liée à l'effort physique 180
- 2. Les limites des performances sportives 182
- 3. L'exercice physique,
un moyen de lutter contre l'obésité 184
- Bilan** 186
- L'essentiel** 188
- Exercices** 190

CHAPITRE 10 Exercice physique
et apports en dioxygène et en nutriments ... 194

- 1. Le cœur, une pompe
dont le débit est mesurable 196
- 2. L'activité cardiaque au cours
de l'exercice physique 198
- 3. La double circulation sanguine
et l'apport en dioxygène et en nutriments 200
- 4. Le couplage fonctionnel des activités
ventilatoire et circulatoire 202
- 5. Un bon état cardio-vasculaire
indispensable à la pratique sportive 204
- Bilan** 206
- L'essentiel** 208
- Exercices** 210

CHAPITRE 11 Régulation
de la pression artérielle 214

- 1. Mesure et valeurs de la pression artérielle 216
- 2. Contrôle nerveux de la fréquence cardiaque ... 218
- 3. Pression artérielle et fréquence cardiaque 220
- 4. La régulation de la pression artérielle
par le contrôle de la fréquence cardiaque 222
- Bilan** 224
- L'essentiel** 228
- Exercices** 230

CHAPITRE 12 Pratiquer une activité
physique en préservant sa santé 234

- 1. La réalisation d'un mouvement 236
- 2. Organisation des muscles
et des articulations 238
- 3. Les accidents de l'appareil locomoteur 240
- 4. Activité physique et santé 242
- Bilan** 244
- L'essentiel** 246
- Exercices** 248

QUESTIONS DE SCIENCES 252

JE M'ORIENTE 257

L'essentiel du thème 3 258

Fiches méthode 260

Corrigés d'exercices 270

Lexique / Index 280

Remerciements et table des illustrations 286

PROGRAMME

CONNAISSANCES

CAPACITÉS ET ATTITUDES

THÈME 1 La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée

L'histoire de la Terre s'inscrit dans celle de l'Univers. Le développement de la vie sur Terre est lié à des particularités de la planète. La vie émerge de la nature inerte. Les êtres vivants possèdent une organisation et un fonctionnement propres. Leurs formes montrent une diversité immense, variable dans le temps, au gré de l'évolution.

Les conditions de la vie : une particularité de la Terre ?

La Terre est une planète rocheuse du système solaire. Les conditions physico-chimiques qui y règnent permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie. Ces particularités sont liées à la taille de la Terre et à sa position 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.

→ CHAPITRE 1

Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour :
– comparer les différents objets du système solaire et dégager les singularités de la Terre ;
– relier les particularités de la planète Terre à sa masse et sa distance au Soleil et définir une zone d'habitabilité autour des étoiles.

La nature du vivant

Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Leurs proportions sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant. Ces éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants. Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau. L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.

→ CHAPITRE 2

Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non vivant. Mettre en œuvre un processus (analyse chimique et/ou logiciel de visualisation moléculaire et/ou pratique documentaire) pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant.

De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur de la cellule : elles constituent le métabolisme. Il est contrôlé par les conditions du milieu et par le patrimoine génétique. La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement. Cette unité structurale et fonctionnelle commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.

→ CHAPITRE 3

Mettre en œuvre un raisonnement expérimental pour :
– montrer l'effet de mutations sur le métabolisme cellulaire et comprendre le rôle du génome ;
– repérer l'influence de l'environnement sur le fonctionnement d'une cellule ;
– comprendre les mécanismes d'une démonstration expérimentale : comparaisons, tests, témoignages. 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. Comparer des ultrastructures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants.

La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel. 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.

→ CHAPITRE 3

Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour mettre en évidence l'universalité de l'ADN. Mettre en œuvre une méthode (démarche historique et/ou utilisation de logiciel et/ou pratique documentaire) permettant d'approcher la structure de l'ADN et la nature du message codé.

La biodiversité, résultat et étape de l'évolution

La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces. 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, dont l'activité humaine.

→ CHAPITRE 1

Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour :
– repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ;
– mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité. Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu. Prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.

Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les Vertébrés ont une organisation commune. Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.

→ CHAPITRE 1

Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques Vertébrés. Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques Vertébrés actuels et/ou fossiles.

La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.

→ CHAPITRES 1 ET 4

Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique. Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.

THÈME 2 Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol

L'Homme a besoin de matière et d'énergie. La croissance démographique place l'humanité face à un enjeu majeur : trouver et exploiter des ressources (énergie, sol) tout en gérant le patrimoine naturel.

Le soleil : une source d'énergie essentielle

La lumière solaire permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone. Ce processus permet, à l'échelle de la planète, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère.

→ CHAPITRE 5

Établir, à l'aide d'arguments expérimentaux, les grands éléments de bilan de la photosynthèse. Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse.

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. La connaissance de ces mécanismes permet de découvrir les gisements et de les exploiter par des méthodes adaptées. Cette exploitation a des implications économiques et environnementales.

→ CHAPITRES 5 ET 6

Repérer dans la composition et les conditions de gisement les indices d'une origine biologique d'un exemple de combustible fossile. Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations, si possible sur le terrain et/ou modéliser pour comprendre les caractéristiques d'un gisement de combustible fossile (structure, formation, découverte, exploitation).

L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. L'augmentation rapide, d'origine humaine, de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone. → CHAPITRE 4	Manipuler, modéliser, extraire et exploiter des informations pour repérer dans une archive géologique simple les indices d'une variation d'origine humaine de la teneur en dioxyde de carbone atmosphérique. Représenter un cycle du carbone simplifié mais quantifié pour comprendre en quoi l'utilisation des combustibles fossiles constitue un enjeu planétaire.
L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. La photosynthèse en utilise moins de 1 %. Le reste chauffe l'air (par l'intermédiaire du sol) et l'eau (ce qui est à l'origine des vents et courants) et évapore l'eau (ce qui permet le cycle de l'eau). Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Ces ressources énergétiques sont rapidement renouvelables. 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. → CHAPITRE 5	Expérimenter, modéliser, extraire et exploiter des informations (documents météorologiques et/ou images satellitaires et/ou documents océanographiques, etc.) et les mettre en relation pour comprendre l'effet de l'énergie solaire sur un exemple de circulation (atmosphérique ou hydrosphérique). Construire une argumentation (de nature manipulative et/ou documentaire) pour montrer l'inégale répartition de la quantité d'énergie solaire reçue selon la latitude, et ses conséquences.
Le sol : un patrimoine durable ?	
Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse. L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle. 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. → CHAPITRE 7	Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations de façon à : – comparer la part de production de biomasse utilisée par l'homme et le total de cette production ; – établir l'inégale répartition de ces deux ressources. Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement. Comprendre les éléments d'un débat. Manifester un intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société à l'échelle planétaire. Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations afin de comprendre comment l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit.
Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température. Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité. → CHAPITRE 8	Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : – comprendre la formation d'un exemple de sol ; – relier végétation, climat, nature de la roche mère et nature d'un exemple de sol. Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

THÈME 3 Corps humain et santé : l'exercice physique

La connaissance du corps et de son fonctionnement est indispensable pour pratiquer un exercice physique dans des conditions compatibles avec la santé. Cela passe par la compréhension des effets physiologiques de l'effort et de ses mécanismes dont on étudie ici un petit nombre d'aspects.

Des modifications physiologiques à l'effort

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 ; – il y a une limite à la consommation de dioxygène. La consommation de nutriments dépend aussi de l'effort fourni. L'exercice physique est un des facteurs qui aident à lutter contre l'obésité. → CHAPITRE 9	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (ExAO, spirométrie, brassard,...) pour mettre en évidence un ou plusieurs aspects du métabolisme énergétique à l'effort (consommation de dioxygène, production de chaleur,...). Exploiter des données quantitatives (éventuellement à l'aide d'un tableau) concernant les modifications de la consommation de dioxygène et/ou de nutriments à l'effort.
Au cours de l'effort un certain nombre de paramètres physiologiques sont modifiés : fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique (et donc débit cardiaque) ; fréquence ventilatoire et volume courant (et donc débit ventilatoire) ; pression artérielle. Ces modifications physiologiques permettent un meilleur approvisionnement des muscles en dioxygène et en nutriments. L'organisation anatomique facilite cet apport privilégié. Un bon état cardiovasculaire et ventilatoire est indispensable à la pratique d'un exercice physique. → CHAPITRE 10	Concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental (en particulier assisté par ordinateur) pour montrer les variations des paramètres physiologiques à l'effort. Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et ou manipuler (dissections et/ou logiciels de simulation et/ou recherche documentaire) pour comprendre l'organisation et le fonctionnement des systèmes cardiovasculaire et ventilatoire.

Une boucle de régulation nerveuse

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) : – des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ; – un centre bulbaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (cœur) ; – les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques. La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. À l'effort, l'organisme s'écarte de cette situation standard. → CHAPITRE 11	Recenser, extraire et exploiter des documents historiques relatifs à des travaux expérimentaux pour construire et/ou argumenter la boucle de régulation nerveuse évoquée. Élaborer un schéma fonctionnel pour représenter une boucle de régulation.
--	--

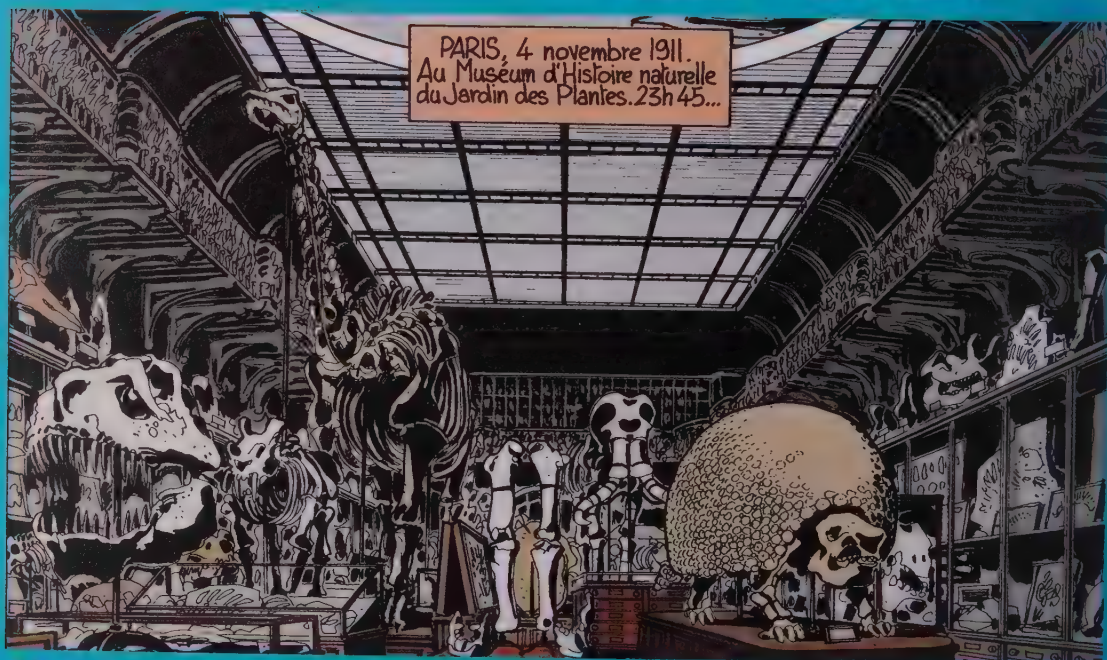
Pratiquer une activité physique en préservant sa santé

Le muscle strié squelettique et les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé. Les accidents musculo-articulaires s'expliquent par une détérioration du tissu musculaire, des tendons, ou de la structure articulaire. Au cours de la contraction musculaire, la force exercée tire sur les tendons et fait jouer une articulation, ce qui conduit à un mouvement. → CHAPITRE 12	Recenser, extraire et interpréter des informations tirées de compte rendus d'accidents musculo-articulaires (imageries médicales). Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et/ou manipuler (dissections, maquettes, etc.) pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire. Relier les caractéristiques de l'organisation du muscle aux manifestations d'un accident musculo-articulaire.
Des pratiques inadéquates ou dangereuses (exercice trop intense, dopage...) augmentent la fragilité du système musculo-articulaire et/ou provoquent des accidents. → CHAPITRE 13	Extraire et exploiter des informations pour : – comprendre la différence entre l'usage thérapeutique d'une molécule et l'usage détourné qui peut en être fait ; – comprendre l'effet sur la santé des sportifs d'une pratique de dopage ; – déterminer comment se livrer à un exercice physique dans de bonnes conditions de santé. Exercer sa responsabilité en matière de santé.



✦ Diversité des formes animales.

... Sciences et arts Le *Livre des propriétés des choses*, rédigé entre 1230 et 1240 par le franciscain Barthélémy l'Anglais, contient un bestiaire dans lequel figurent trente-cinq espèces d'oiseaux et quatre-vingt-quinze espèces de quadrupèdes, dont des animaux fantastiques, comme la licorne. Cette œuvre de vulgarisation du savoir obtint un très grand succès dans toute l'Europe, jusqu'au *xvi^e* siècle, en relation avec l'intérêt pour « l'histoire naturelle » débutante. Les animaux, miniature sur parchemin extraite du Manuscrit à peinture *Le Livre des propriétés des choses* d'Ysaïe, vers 1435 (Bibliothèque de France, Paris).



✦ La vie a une histoire.

... Sciences et arts Née à la fin du *xix^e* siècle, la paléontologie (science fondée sur l'étude des fossiles) prit son essor avec l'étude des grands bassins sédimentaires européens. Ceux-ci livrèrent de nombreux fossiles, dont certains furent exposés dans la galerie de paléontologie et d'anatomie inaugurée en 1891. Jacques Tardi, né en 1946, artiste de bande dessinée, est fasciné par les collections fossiles de la salle de paléontologie du muséum d'histoire naturelle du Jardin des Plantes. Il utilise ce décor dans les *Aventures extraordinaires d'Adèle Blanc-Sec*.

« Tout ça est seulement un prétexte à montrer le décor de la salle, qui m'a toujours fasciné et (...) un prétexte à une histoire fantastique » (Jacques Tardi).

Jacques Tardi, *Aventures extraordinaires d'Adèle Blanc-Sec*, extrait de l'album de bande dessinée *Adèle et la Bête*, éditions Casterman.

Une planète habitée

CHAPITRE 1 La biodiversité
actuelle : un instantané de l'évolution

CHAPITRE 2 L'unité structurale
et chimique du vivant

CHAPITRE 3 Facteurs de
l'organisation et du fonctionnement
cellulaires

CHAPITRE 4 Les forces évolutives
à l'origine de la biodiversité



La diversité du monde végétal.

... Sciences et arts Paul Gauguin est fasciné par la beauté
des paysages encore sauvages. Dans ce Paysage,
il dépeint la diversité luxuriante de la flore
de l'île d'Hiva Oa dans l'archipel des Marquises.
« Les formes stylisées, la composition par plans
superposés qui amène la perspective [...] sont typiques
des paysages des dernières années de Gauguin. » (tiré
du catalogue du musée de l'Orangerie).

Paul Gauguin (1848-1903), *Paysage* (détail), huile sur toile,
1901 (musée de l'Orangerie, Paris).



La molécule de la vie.

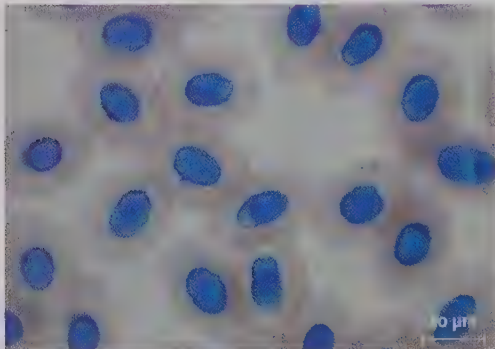
... Sciences et arts Afin de comprendre et représenter
le complexe, nous avons recours à des modèles.
Au milieu du 20^e siècle, après avoir démontré que la
molécule d'ADN porte les informations génétiques,
les scientifiques donnent naissance au célèbre modèle
de la « double hélice ». Ici, l'architecture de base de la
molécule est représentée de façon surdimensionnée
(15 mètres de haut !). La variabilité de l'ADN est à
l'origine de l'évolution des êtres vivants.

Molécule d'ADN, sculpture, architecture de Santiago Calatrava,
2000 (Cité des Arts et des Sciences, Valence, Espagne).

THÈME 1

La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée

1 La cellule est l'unité d'organisation du vivant.

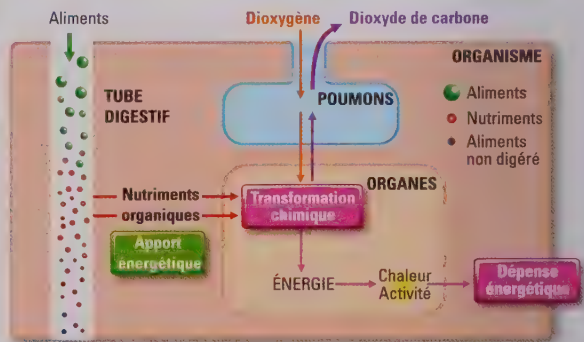


Cellules de sang de grenouille observées au microscope optique.

Questions

- 1 Dessiner une cellule sanguine et légender : membrane, noyau et cytoplasme.
- 2 Mobiliser ses connaissances pour justifier l'affirmation « la cellule est l'unité d'organisation du vivant ».

2 Production d'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme.

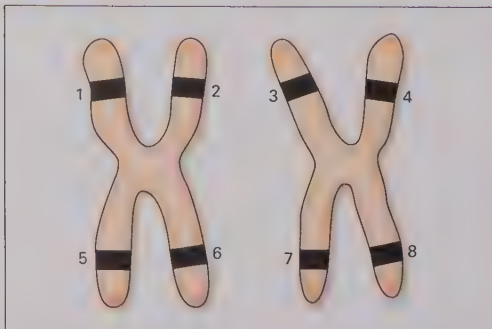


Acquisition d'énergie utilisable par l'organisme.

Questions

- 3 Indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses. Justifier.
 - a. L'utilisation de dioxygène et de nutriments permet à l'organisme d'acquies de l'énergie.
 - b. L'acquisition d'énergie par l'organisme s'accompagne de la production de déchets.
 - c. Le dioxyde de carbone est indispensable à la production d'énergie par un organisme.

3 Un même gène peut exister sous différentes versions appelées allèles.



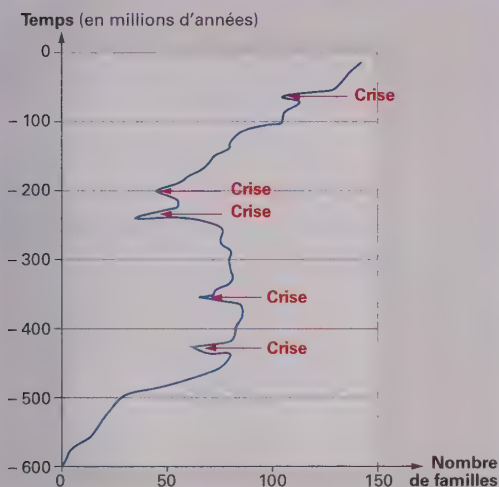
Représentation schématique d'une paire de chromosome lors de la division cellulaire. Les segments noirs sur les chromosomes correspondent à la localisation d'allèles pouvant appartenir à différents gènes.

Les individus d'une même espèce possèdent les mêmes gènes localisés sur les mêmes chromosomes, au mêmes endroits. Un gène peut présenter différentes versions ou allèles.

Questions

- 4 Rappeler quelle est la molécule constitutive des chromosomes.
- 5 Indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses. Justifier.
 - a. 1, 2, 3 et 4 correspondent à un même gène.
 - b. 1 et 2 sont des allèles d'un même gène.
 - c. 1 et 3 sont deux allèles identiques du même gène.
 - d. 1 et 5 sont deux allèles d'un même gène.
 - e. 5 et 6 sont des versions différentes d'un même gène.

4 Évolution de la biodiversité au cours des temps géologiques.

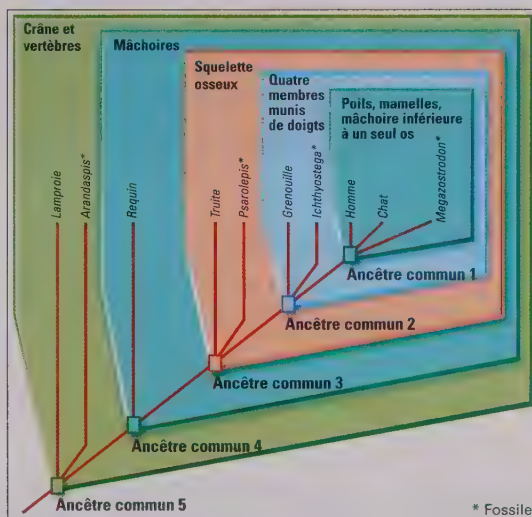


Au cours des temps géologiques des groupes d'êtres vivants apparaissent et disparaissent. Les crises sont marquées par une diminution brutale de la biodiversité.

Questions

- 6 Indiquer comment a globalement évolué la biodiversité au cours des temps géologiques.
- 7 Situer dans le temps les crises survenues dans l'histoire de la vie.
- 8 Justifier l'existence d'une crise il y a 250 millions d'années.

5 Parenté entre êtres vivants.



Groupes emboîtés et arbre de parenté de quelques êtres vivants actuels et fossiles.

Questions

- 9 Indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses. Justifier.
 - a. Le document montre que tous les êtres vivants présentés sur le document sont apparentés.
 - b. *Ichthyostega* possédait quatre membres munis de doigts mais pas de mâchoires.
 - c. L'ancêtre commun 3 possédait un crâne et des vertèbres, des mâchoires et un squelette osseux.

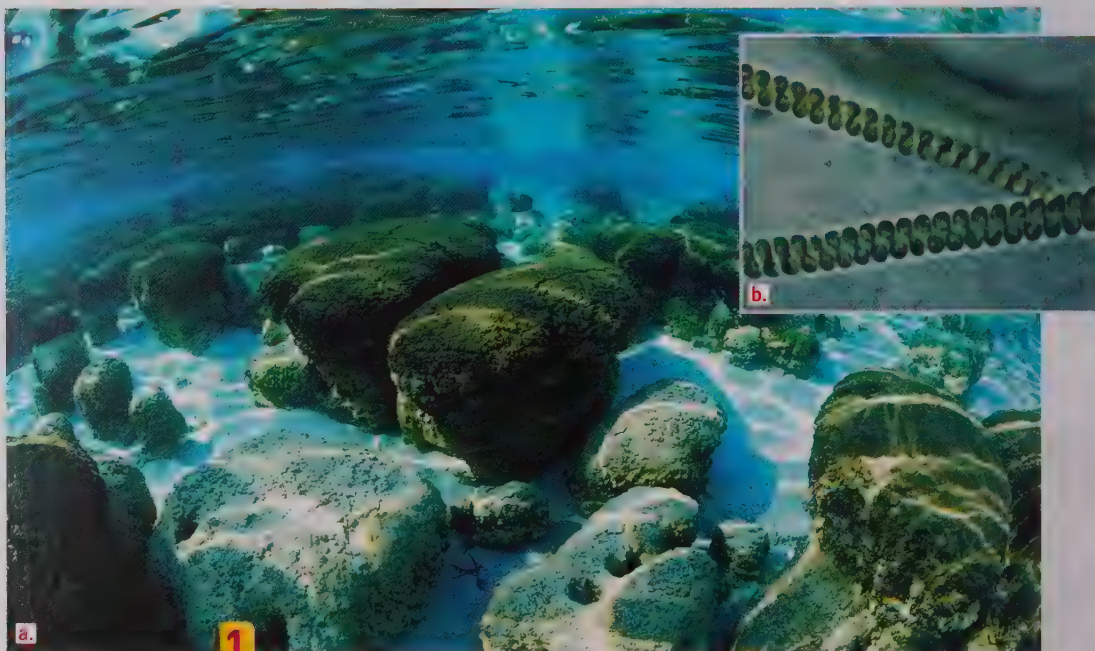
MÉMO

- Les organismes vivants sont très divers : c'est la biodiversité.
- Par ses actions, l'Homme influence la répartition des êtres vivants, la biodiversité et la reproduction des êtres vivants.
- La cellule est l'unité d'organisation du vivant des êtres vivants.
- Les chromosomes présents dans le noyau sont les supports de l'information génétique. Ils sont constitués d'ADN et portent les gènes, unités d'information génétique qui déterminent les caractères héréditaires.
- Un gène peut présenter différentes versions appelées allèles. La molécule d'ADN présente des différences selon les allèles.

- On peut classer les êtres vivants en groupes emboîtés en fonction des caractères qu'ils possèdent en commun. Différents arguments indiquent une origine primordiale commune à tous les êtres vivants.
- Une crise est une période d'extinction d'un grand nombre d'espèces en un temps géologique relativement court.
- Au cours des temps géologiques, des espèces apparaissent à partir d'espèces préexistantes et disparaissent, c'est l'évolution.
- Les changements des conditions planétaires ont influencé l'évolution de la vie en sélectionnant les formes les plus adaptées.

La biodiversité un instantané

➤ La Terre est actuellement peuplée d'êtres vivants très divers. Depuis plus de 3 milliards d'années, des groupes d'organismes vivants sont apparus, se sont développés, puis ont régressé et ont disparu. Cette évolution du vivant a connu des périodes de crise marquées par l'extinction massive d'espèces et suivies par l'émergence d'un grand nombre de nouvelles espèces.



1

Les stromatolithes.

Les stromatolithes sont des formations calcaires dont les plus anciennes remontent à 3,5 milliards d'années. Il s'agit de roches sédimentaires édifiées par l'activité de micro-organismes. Ces micro-organismes appartiennent aux premières formes de vie qui ont peuplé la Terre. Les cyanobactéries sont impliquées dans la construction de ces roches qui se forment encore de nos jours.

a. Stromatolithes actuels.

b. Cyanobactéries actuelles.

Quelles conditions ont permis l'émergence et le maintien de la vie sur notre planète ?

actuelle : de l'évolution



2

Description de différentes espèces par Darwin.

À partir du ^{xvi}e siècle ont lieu de grandes expéditions au cours desquelles scientifiques et dessinateurs s'attachent à décrire les espèces rencontrées.

La planche ci-contre illustre quelques espèces décrites par Charles Darwin au cours de son voyage naturaliste autour du monde (1831-1836).

Comment la biodiversité se manifeste-t-elle au cours du temps ?



3

Représentation de mammoth.

Cette peinture pariétale préhistorique est présente dans la grotte de Pech Merle (Lot). Elle est datée d'environ 25 000 ans.

Comment la biodiversité évolue-t-elle au cours du temps ?



4

La crise biologique du Crétacé-Tertiaire.

À la fin du Crétacé, il y a 65 Ma, à la suite d'une catastrophe planétaire, de nombreuses espèces disparaissent. Par la suite, au début de l'ère tertiaire, un grand nombre d'espèces nouvelles apparaissent.

Quels sont les facteurs responsables des modifications de la biodiversité ?

Les conditions de la vie, une particularité de la Terre



Nous savons que la Terre s'est formée il y a 4,6 milliards d'années. Peu après, des océans apparaissent, dans lesquels se dissout une partie du CO_2 atmosphérique. Les premières formes de vie sont aquatiques (bactéries, - 3,5 milliards d'années) et dégagent du dioxygène en présence de lumière.

OBJECTIFS

- **Connaissances** : identifier les conditions physico-chimiques régnant sur la Terre et compatibles avec l'installation de la vie.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.



Quelles sont les conditions physico-chimiques qui permettent l'installation et le maintien de la vie sur Terre ? Sont-elles une particularité de notre planète ?

A La Terre au sein du système solaire



1 Les divers objets du système solaire.

Le Soleil est une des 100 milliards d'étoiles de notre galaxie (la Voie lactée). On estime que l'Univers est constitué d'un milliard de galaxies. Une ceinture d'astéroïdes est composée de corps rocheux et métalliques de petite taille. Une comète est un amas de glace et de poussières. Pluton est une planète naine du système solaire.

	Planètes rocheuses				Planètes gazeuses			
	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distance au Soleil en U.A. ⁽¹⁾	0,39	0,72	1	1,52	5,2	9,5	19,2	30,1
Rayon ⁽²⁾ rapporté à celui de la Terre	0,38	0,95	1	0,53	11,2	9,45	4	3,88
Masse ⁽³⁾ rapportée à celle de la Terre	0,06	0,81	1	0,11	317,83	95,16	14,5	17,2
Densité moyenne	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,3	1,7
Atmosphère ⁽⁴⁾ : épaisseur	Très faible	350 km	500 km	> 100 km	1 000 km	1 000 km	6 500 km	4 500 km
Atmosphère : composition	Traces de He...	CO ₂ : 96 % N ₂ : 3,5 %	N ₂ : 78 % O ₂ : 21 % CO ₂ : 0,03 %	CO ₂ : 95 % N ₂ : 3 %	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He, CH ₄
Température au sol	+ 430 °C / - 170 °C	460 °C	+ 50 °C - 90 °C	- 70 °C 0 °C	< - 100 °C prise dans la partie supérieure de l'atmosphère			
État de la surface	Solide	Solide	Solide	Solide	Gazeux	Gazeux	Gazeux	Gazeux
Particularités remarquables	Absence d'eau	Eau : vapeur dans l'atmosphère	Vie ; Eau (vapeur, liquide, glace) à la surface	Vie ? Eau : vapeur dans l'atmosphère et glace dans le sol				

2 Planétologie comparée du système solaire.

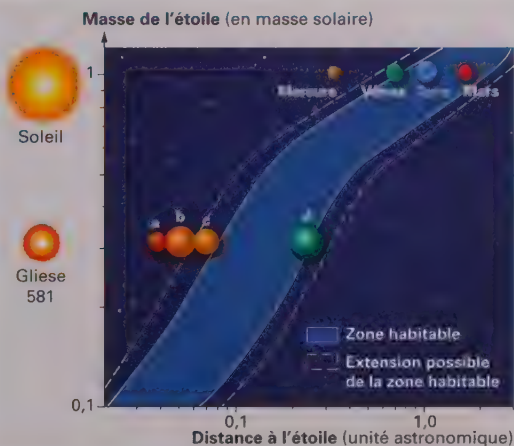
- (1) U.A., unité astronomique : unité de distance équivalente à la distance Terre-Soleil (1 U.A. = 150 millions de km).
 (2) Le rayon moyen de la Terre est d'environ 6 350 km. (3) La masse de la Terre est de 6×10^{27} g.
 (4) Une atmosphère épaisse est davantage susceptible d'absorber des radiations comme les rayons ultraviolets.

3 La vie ailleurs dans l'Univers.

Dans notre galaxie, il y a des milliards de planètes en orbite autour d'étoiles de type solaire ou non. Pour chaque étoile, on définit une zone habitable, c'est-à-dire une zone où l'eau est susceptible d'être présente à l'état liquide. De nombreux autres facteurs conditionnent l'existence de cette zone.

4 Le concept de zone habitable. →

La zone habitable est définie au sens astronomique, qui prend en compte la masse de l'étoile centrale (Soleil) et la distance de la planète à cette étoile. Cette zone peut être élargie si on prend en compte d'autres facteurs comme la présence d'un effet de serre et l'activité tectonique. Gliese 581 est un système dont 4 planètes ont été représentées (a, b, c et d).



EXPLOITATION

1. **Relever** quelques caractéristiques physiques essentielles qui opposent planètes telluriques et planètes gazeuses (**doc. 1** et **doc. 2**).

2. **Exploiter** le document 2 pour établir un lien entre la masse d'une planète et l'épaisseur de son atmosphère.

3. **Rappeler** les trois états physiques sous lesquels l'eau peut exister (**doc. 2**). **Indiquer** les paramètres physiques qui conditionnent le passage de l'un à l'autre sachant qu'en altitude l'eau bout à une température inférieure à 100 °C ?

4. **Relever** le paramètre astronomique (**doc. 2**) qui conditionne les valeurs de la pression et de la température à la surface d'une planète.

5. **Déterminer** les paramètres physico-chimiques (**doc. 2**) qui sont nécessaires à la constitution d'un milieu favorable à la vie ? Quelle(s) planète(s) rassemble(nt) de telles caractéristiques (**doc. 2**) ?

6. Sous la forme d'un court texte, **argumenter** sur la possibilité de vie sur d'autres planètes (**doc. 2** à **4**).

La biodiversité dans les écosystèmes forestiers

Nous savons qu'il existe sur Terre une biodiversité définie par la diversité des espèces actuelles.

Chaque chromosome est constitué d'ADN, molécule qui supporte l'information génétique. Celle-ci se présente sous la forme de gènes dont les différentes versions sont appelées allèles.

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer l'existence d'une biodiversité à différentes échelles (au sein d'un écosystème et au sein d'une espèce).
- **Capacités** : utiliser des outils simples de détermination d'espèce ; communiquer à l'écrit : texte argumenté.

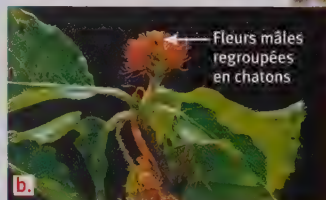


Comment montrer la biodiversité dans les écosystèmes actuels ? La biodiversité peut-elle être observée à différentes échelles ?

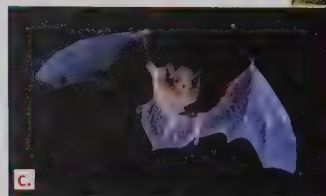
A

Diversité des espèces dans une forêt tempérée

La biodiversité est un terme créé par la contraction de « diversité biologique ». Cette expression désigne la multitude d'êtres vivants différents qui peuplent notre planète.



Fleurs mâles regroupées en chatons



a.



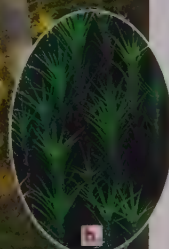
e.



f.



g.



h.

1 Biodiversité dans un écosystème* : la forêt de Tronçais (Allier).

Quelques espèces* végétales et animales illustrent une partie de la diversité des êtres vivants qui peuplent une forêt tempérée.

a. Hibou moyen duc.

b. Hêtre.

c. Pipistrelle.

d. Ronce.

e. Chêne sessile.

f. Lucane.

g. Fougère mâle.

h. Polytrich.

B Diversité des espèces dans une forêt-galerie

2 Biodiversité dans un écosystème : une forêt-galerie.



a. Paysage de la forêt-galerie de la vallée du Courant d'Huchet (Landes). Une forêt-galerie est une bande de forêt localisée le long d'un cours d'eau.

Végétaux		Animaux	
Groupe	Espèce	Groupe	Espèce
Angiospermes (plantes à fleurs)	Chêne pédonculé, Aulne, Alaterne, Molinie, Chèvrefeuille...	Mammifères	Vison d'Europe, Loutre, Rhinolophe (chauve-souris), Chevreuil
Fougères	Scolopendre	Amphibiens	Crapaud commun, Rainette, Triton marbré
Mousses	Sphaigne	Tortues	Cistude
		Oiseaux	Geai, Busard des roseaux, Pic épeichette, Sittelle
		Arthropodes	Grand Capricorne, Lucane

b. Exemples d'espèces végétales et animales présentes dans la forêt-galerie du Courant d'Huchet.

C La biodiversité à l'échelle de l'ADN

On souhaite montrer que dans une même espèce tous les individus ne sont pas génétiquement identiques. Pour cela, on analyse l'ADN de trois régions chromosomiques appelées A, B et C. Ces trois secteurs sont situés respectivement sur les chromosomes 10, 11 et 12.

L'étude est réalisée sur trois espèces différentes de chênes (pédonculé, sessile et pubescent).

Le tableau ci-dessous indique le nombre d'allèles différents identifiés dans chacune des régions chromosomiques étudiées (A, B et C) pour chaque espèce.

Espèce étudiée	Nombre d'allèles différents		
	Région chromosomique A	Région chromosomique B	Région chromosomique C
Chêne pédonculé	19	26	20
Chêne sessile	18	22	7
Chêne pubescent	24	23	16

3 Diversité génétique chez différentes espèces de chênes (exprimée en diversité d'allèles).

VOCABULAIRE

Écosystème : ensemble constitué par un environnement et les êtres vivants qui l'habitent.

Espèce : ensemble d'êtres vivants se ressemblant, pouvant se reproduire entre eux et avoir une descendance fertile.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Distinguer les trois espèces de chênes et présenter pour chacune d'elles, les quantités d'allèles des trois régions chromosomiques. • La hauteur des colonnes doit être proportionnelle au nombre d'allèles indiqué. • Indiquer de façon lisible les légendes (nom des espèces, nom des régions chromosomiques, nombre d'allèles).
- Rédiger un texte grammaticalement et scientifiquement correct. Chacun des éléments de la définition doit être argumenté.

EXPLOITATION

- En utilisant la clé de détermination (située en fin de manuel), **identifier** les groupes auxquels appartiennent les espèces végétales de la forêt de Tronçais (**doc. 1**).
- À partir des données du document 3, **créer**, avec un tableur, un graphique sous la forme d'un histogramme (diagramme en colonnes) en indiquant le nombre d'allèles présents pour chacune des trois régions chromosomiques et pour les trois espèces de chênes. (→ Voir fiche méthode p. 260.)
- « La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces. » **Exploiter** les résultats de l'ensemble des documents et **rédiger** un texte argumentatif validant cette définition.

Des changements de la biodiversité au cours du temps

Nous savons qu'au cours du temps des espèces disparaissent et que d'autres apparaissent. Les changements des conditions régnant à la surface de la Terre influencent l'évolution de la vie.



Dans un écosystème donné, la diversité est-elle stable dans le temps ? Quels facteurs peuvent être responsables de la disparition d'espèces ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : la biodiversité varie dans le temps. Divers facteurs, dont les changements climatiques, peuvent être à l'origine de l'extinction d'espèces.
- **Capacités** : extraire et organiser des informations ; communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

A La biodiversité varie dans le temps



1 Reconstitution d'une forêt houillère du Carbonifère, il y a 300 Ma, dans le nord de la France.

Il y a 300 millions d'années (Ma), à une période appelée Carbonifère, le nord de la France était soumis à un climat chaud et humide proche de celui de l'équateur actuel. Cette région était alors occupée par une forêt dite « forêt houillère ».

- a. Fossile de tronc de fougère arborescente.
- b. Fossile de *Pecopteris* (fougère).
- c. Fossile d'amphibien.
- d. Fossile d'*Aphetabolattina* (blatte).
- e. Fossile de libellule.
- f. Fossile de *Calamites* (prêle).

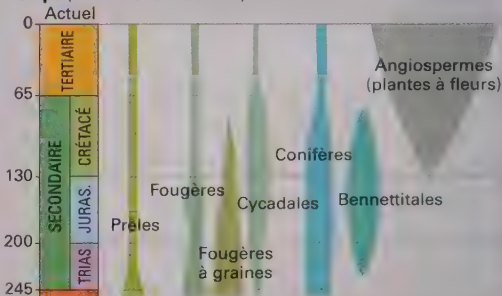
	Groupes	Abondance
Végétaux	Plantes à fleurs	Forte
	Plantes sans fleurs	Faible
Animaux	Arthropodes	Forte
	Oiseaux	Moyenne
	Serpents, Lézards	Faible
	Mammifères	Faible
	Amphibiens	Faible

2 La biodiversité de la forêt guyanaise actuelle.

VOCABULAIRE

Taxon : groupe d'organismes vivants (espèce, genre, famille, ordre...) qui possèdent un même ancêtre commun.

Temps (en millions d'années)



3 Évolution de la biodiversité depuis 245 millions d'années. Le graphe présente le nombre de taxons* appartenant aux grands groupes de végétaux terrestres depuis 245 Ma. La largeur d'une bande est proportionnelle au nombre de taxons présents à un moment donné.

B Origine de la disparition des mammouths

Il y a environ 6 000 ans, les derniers mammouths disparaissaient, ainsi que d'autres grands mammifères de l'âge glaciaire comme les rhinocéros laineux ou les cerfs géants. Des scientifiques pensent que la disparition des mammouths peut être attribuée à un changement climatique.



4 Reconstitution d'un paysage de steppe herbeuse.

Les mammouths, grands mammifères herbivores, trouvaient une nourriture abondante dans la steppe herbeuse.

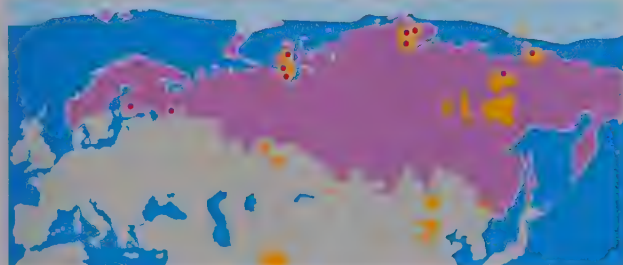
5 Localisation de la steppe herbeuse et des restes de mammouths.

a. Il y a 21 000 ans, la température moyenne annuelle du globe était de -12°C . La Terre était alors dans une période glaciaire et la steppe herbeuse occupait une grande superficie. À titre de comparaison, la température annuelle moyenne de la France est actuellement de 13°C .

b. Il y a 6 000 ans, la température moyenne annuelle du globe était de 1°C . La calotte glaciaire avait disparu de l'Eurasie et la steppe herbeuse était remplacée par des forêts comme sur la majeure partie du nord de l'Europe. Ne subsistaient alors plus que quelques rares populations de mammouths.



a. Il y a 21 000 ans (température moyenne annuelle : -12°C)



b. Il y a 6 000 ans (température moyenne annuelle : 1°C)

Calotte glaciaire

Mers et océans

Toundra et taïga

Steppe herbeuse

Autre végétation

Restes de mammouths

CRITÈRES DE RÉUSSITE

1. • Construire un tableau à double entrée. • Indiquer le nom des lignes et des colonnes. • Indiquer la présence ou l'absence de représentants de chaque groupe et leur abondance relative. • Donner un titre au tableau.

4. • Rédiger un texte grammaticalement correct, d'une dizaine de lignes. • Mettre en relation l'évolution climatique et l'évolution de la steppe herbeuse. • Mettre en relation les besoins alimentaires des mammouths et l'évolution de l'étendue de la steppe herbeuse. • Présenter des données chiffrées.

EXPLOITATION

1. Construire un tableau comparant les groupes d'êtres vivants présents dans la forêt houillère et dans la forêt tropicale actuelle (doc. 1 et doc. 2).

2. À partir du document 2, indiquer le groupe végétal qui est le plus représenté actuellement dans une forêt équatoriale. Utiliser le document 3 pour indiquer la date d'apparition de ce groupe.

3. Exploiter le document 3 pour montrer que la diversité végétale du Jurassique était différente de celle du Crétacé.

4. À partir de la mise en relation des données des documents 4 et 5, écrire un texte montrant que la disparition des mammouths pourrait s'expliquer par un changement climatique.

L'Homme et la biodiversité



Nous savons que les activités humaines ont un impact sur l'environnement.



Quelles sont les conséquences des activités humaines sur la biodiversité et comment la préserver ?

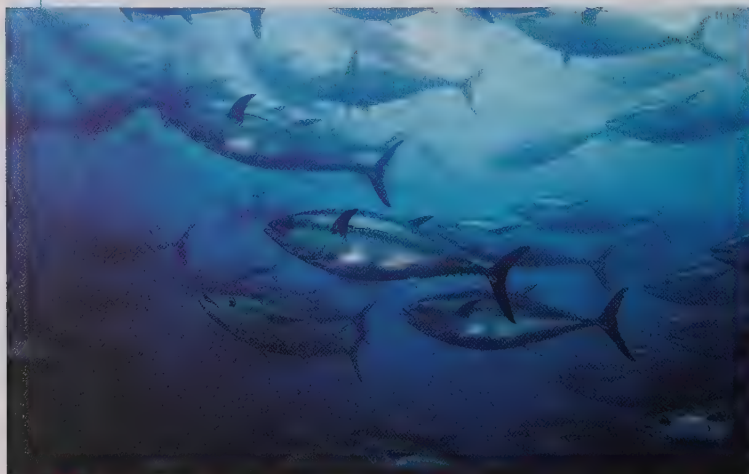
OBJECTIFS

- **Connaissances** : les activités humaines influencent la biodiversité.
- **Capacités** : communiquer dans un langage scientifiquement approprié : graphique.

A L'Homme et la disparition annoncée du thon rouge de l'Atlantique

Le thon rouge de l'Atlantique est une espèce répartie dans différents océans et mers du globe. Cette espèce est fortement pêchée, en particulier en Méditerranée où elle vient pour se reproduire.

En février 2010, la Commission européenne propose que l'interdiction du commerce international du thon rouge de l'Atlantique entre en vigueur dans le courant de l'année 2011. On cherche à comprendre ce qui justifie cette proposition qui a, depuis lors, été rejetée par la CITES (Convention sur le commerce international de faune et de flore sauvages menacées d'extinction).



2 Caractéristiques biologiques du thon rouge de l'Atlantique.

Mode de vie : déplacements en bancs serrés aisément repérables en surface ; regroupement des adultes lors de la période de reproduction.

Longévité : 20 à 40 ans.

Dimensions : longueur qui peut être supérieure à 3 mètres, avec un poids pouvant atteindre 700 kg.

Reproduction :

- Maturité sexuelle à 4 ans (poids 35 kg).
- Période de reproduction en mai-juin en eau chaude.
- Nombre de descendants dépendant directement du poids de l'animal.
- Reproduction impossible en captivité.

1 Banc de thons rouges de l'Atlantique.

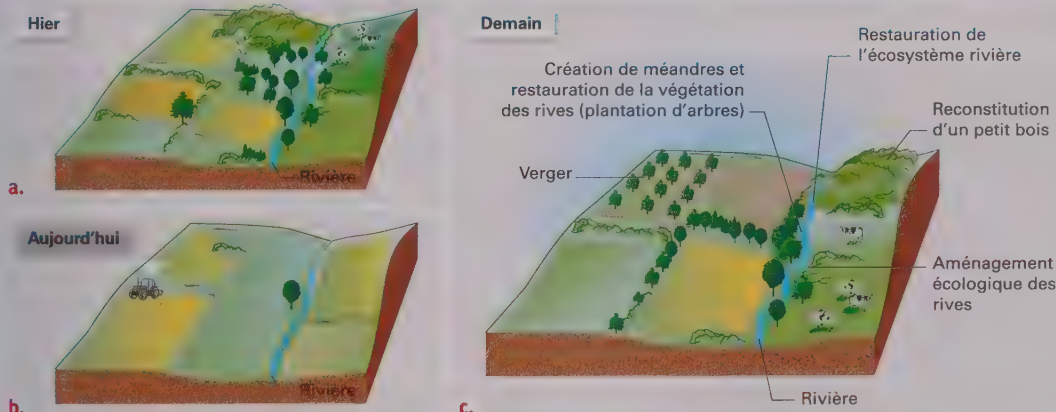
3 Informations sur la pêche au thon rouge.

- Forte augmentation de la demande de thon rouge, notamment de la part du Japon, grand consommateur de sushis (préparation à base de riz et de poisson cru). Un thon de 214 kg s'est récemment vendu 230 000 euros au Japon.
- Essentiel des captures réalisé par une flotte industrialisée.
- Surcapacité des flottes de pêche.
- Développement de nombreuses fermes « aquacoles » dans lesquelles on élève de jeunes thons n'ayant pas atteint la maturité sexuelle avant de les vendre.
- Utilisation de techniques de pêche illégales : repérage des bancs par avion, pêche en dehors des périodes autorisées.
- Quantité de thon pêché en 2006 : 50 000 tonnes dont 17 500 pêchées illégalement.
- Estimation du volume de pêche à ne pas dépasser pour assurer le maintien de la population en 2006 : 20 000 tonnes.

Temps (année)	Stock de thon (tonne/an)
1995	210 000
1998	200 000
2000	200 000
2002	175 000
2004	145 000
2006	110 000
2007	75 000

4 Évolution du stock de thon rouge en Méditerranée.

B L'Homme et la gestion de la biodiversité à l'échelle des écosystèmes



5 Évolution d'un paysage au cours du temps en relation avec les activités humaines.

a. Paysage rural du XIX^e siècle. b. Culture intensive avec modification du trajet de la rivière et épandage de pesticides et d'engrais. c. Aménagement de la zone de culture intensive afin de restaurer la biodiversité.

- Espèces présentes, au XIX^e siècle, dans un paysage rural (doc. 5a)
- Espèces présentes lors de la culture intensive (doc. 5b)
- Espèces présentes suite à un aménagement d'une zone de culture intensive (doc. 5c)

Blaireau	Belette	Chevreuil	Foin	Martre	Hérisson	Maïs	Blé	Lotier corniculé	Fétuque des prés	Ray-grass anglais
Lièvre	Castor	Loutre	Taupe	Lézard	Renard	Trèfle violet	Érable sycomore	Grande berce	Menthe aquatique	
Écureuil d'Europe	Hibou	Perdrix	Buse	Héron	Couleuvre	Aubépine monogyne	Noisetier à fruits	Sureau	Viorne obier	
Coléoptères	Libellule	Pigeon	Faisan	Bécassine	Crapaud	Bouleau verruqueux	Frêne commun	Merisier	Noyer commun	
Grenouille	Écrevisse	Papillons	Grillons	Tanche	Truite	Tilleul à feuilles plates	Tremble	Aulne glutineux	Bleuet	

6 Évolution de la biodiversité dans un territoire sous l'influence de l'Homme.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

1. Appliquer les critères définis dans la fiche méthode « Construire un graphique », p. 260.

EXPLOITATION

- À partir des données du document 4, **construire** le graphique présentant l'évolution du stock de thon rouge en Méditerranée en fonction du temps et **déterminer** graphiquement l'année probable de disparition du thon rouge, en considérant que la diminution des stocks se poursuit à la même vitesse.
- Effectuer** des recherches sur Internet et **élaborer** un compte rendu présentant les moyens envisageables pour s'opposer à la disparition du thon rouge de la planète. **Indiquer** quelle(s) difficulté(s) peut(vent) engendrer l'application de certaines de ces mesures.
- Nommer** une espèce qui a disparu du paysage lors de la mise en place de la culture intensive (doc. 6). **Calculer** le pourcentage d'espèces disparues lors de la mise en place de la culture intensive en fonction du nombre total d'espèces à cet instant. **Nommer** les nouvelles espèces installées dans la culture intensive et **proposer** des hypothèses expliquant leur origine.
- Décrire** les effets de l'aménagement du territoire sur la biodiversité. **Quantifier** l'effet global de cet aménagement en proposant un pourcentage d'évolution du nombre d'espèces présentes lorsque l'on passe d'une culture intense à une zone aménagée par l'Homme.

1 Les conditions de la vie : une particularité de la Terre



1 La planète Terre, appelée la planète bleue, vue de l'espace.

• Dans le système solaire, huit planètes tournent autour d'une étoile, le Soleil, sur des trajectoires presque circulaires situées dans le même plan. D'autres objets comme les comètes, les astéroïdes, les satellites et les planètes naines gravitent également autour du Soleil. L'ensemble constitue le système solaire (**activité 1**).

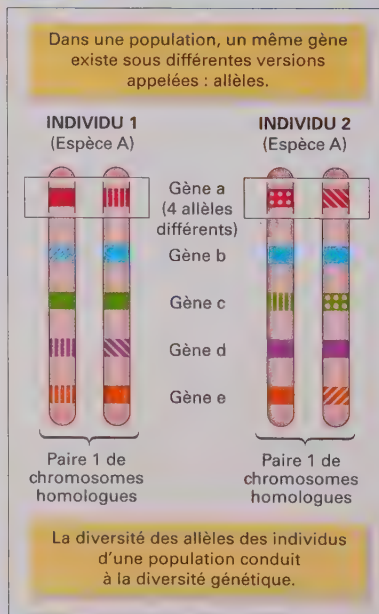
• Les planètes peuvent se classer en deux groupes principaux : les planètes rocheuses (ou telluriques) proches du Soleil et les planètes gazeuses plus lointaines.

• La Terre est appelée la planète bleue (doc. 1). La présence d'eau liquide est rendue possible par des conditions précises de pression et température qui sont liées à la distance qui sépare la Terre du Soleil. Grâce à sa masse, la Terre peut retenir une atmosphère épaisse (**activité 1**).

• Trois conditions principales paraissent nécessaires à l'émergence de la vie : la présence d'eau liquide, la persistance de cette eau liquide et la présence d'une atmosphère épaisse, protectrice, et dont la composition est favorable à la vie.

• Aujourd'hui, aucun indice de vie ailleurs que sur Terre n'a été trouvé. Cependant, il existe des planètes qui gravitent autour de leur étoile, situées dans la zone d'habitabilité. De nombreuses missions ont pour objectif d'identifier des planètes potentiellement « habitables » (**activité 1**).

2 Les diverses échelles de la biodiversité



2 Biodiversité au niveau génétique.

Pour les deux individus de cette espèce, chaque gène présente plusieurs allèles différents. Chez la plupart des espèces, 1/3 des gènes présente au moins deux allèles.

• La biodiversité, étymologiquement « diversité du vivant », peut s'envisager à trois niveaux différents (**activité 2**).

– La biodiversité correspond à la **diversité des espèces** présentes dans un écosystème donné : c'est par exemple la variété des espèces présentes dans un écosystème forestier. Cette diversité peut être mise en évidence par la détermination des différentes espèces occupant un milieu (**activité 2**).

– À plus grande échelle, la biodiversité correspond à la **diversité des écosystèmes** présents sur Terre. Il existe de nombreux écosystèmes différents, peuplés par des êtres vivants particuliers (**activité 2**).

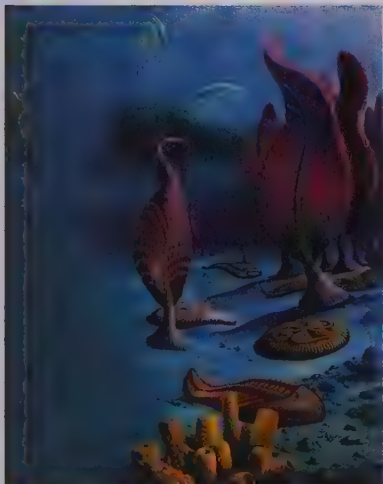
– À plus petite échelle, la biodiversité peut s'envisager au **niveau génétique**. Dans une espèce, de nombreux gènes présentent plusieurs versions ou allèles (doc. 2). L'existence d'allèles différents au sein d'une espèce constitue sa **diversité génétique**.

• La biodiversité correspond donc à la **diversité des êtres vivants** dans un milieu, à la **diversité des écosystèmes** et à la **diversité génétique** au sein des espèces.

• L'inventaire complet des formes de vie qui peuplent la Terre n'ayant jamais été réalisé, le nombre total d'espèces actuelles est basé sur des estimations.

• Dans les années 1990, on proposait un nombre de 1,7 million pour les espèces vivantes répertoriées. On estime que le nombre total d'espèces vivant aujourd'hui sur Terre oscille entre 5 et 30 millions. On cite même parfois le chiffre de 100 millions d'espèces. ➡ (**Questions de sciences p. 89**)

3 La biodiversité varie dans le temps



3 Diversité et originalité de la vie il y a environ 600 millions d'années.

Cette reconstitution a été réalisée à partir de fossiles trouvés dans l'ensemble des mers du globe à cette époque. Il y a 600 Ma, la vie se cantonnait dans les océans. Certains fossiles ressemblent à des animaux que l'on observe encore aujourd'hui, d'autres présentent une organisation inconnue de nos jours.

● La biodiversité n'a pas toujours été celle que nous observons aujourd'hui (**activité 3**).

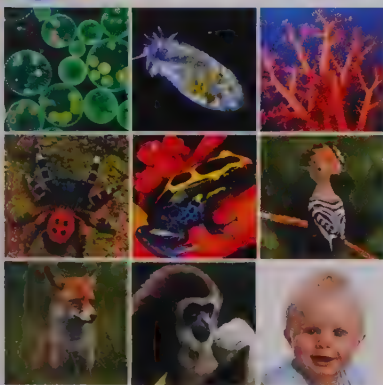
● À l'échelle du globe, depuis 3 milliards d'années, la biodiversité s'accroît. Cette augmentation n'est cependant pas régulière dans le temps. Certaines périodes ont été marquées par des extinctions massives, appelées **crises biologiques**, qui ont conduit à la disparition brutale de nombreuses espèces (**doc. 3**).

● Actuellement, entre 17 000 et 100 000 espèces disparaissent de notre planète chaque année. De nos jours, on estime que le taux d'extinction des espèces est 100 à 1 000 fois plus élevé qu'avant 1850. De l'avis de nombreux scientifiques, nous assistons probablement aujourd'hui à la 6^e **grande crise biologique** dont l'Homme est certainement la cause essentielle.

● Comme de nombreuses espèces ont disparu depuis l'apparition de la vie, les espèces actuelles ne représentent qu'une infime partie des espèces qui ont existé. La biodiversité actuelle est donc le résultat de plus de **3 milliards d'années d'évolution** au cours desquelles des espèces sont apparues et d'autres ont disparu.

● La biodiversité actuelle est donc **un moment particulier de l'histoire du vivant** qui diffère de celle des temps antérieurs et de celle des temps futurs.

4 Les facteurs de changement de la biodiversité



4 Une biodiversité menacée.

Une espèce disparaît toutes les 20 minutes.



5 Anciennes variétés de tomates que des agronomes et des chercheurs d'université encouragent à cultiver.

● De nombreux facteurs, comme les **changements climatiques**, peuvent avoir un impact sur la biodiversité. Un réchauffement climatique survenu il y a environ 20 000 ans a entraîné la disparition des mammouths (**activité 3**). De nombreux travaux tentent d'établir les éventuelles conséquences du réchauffement climatique observé actuellement.

● Les **activités humaines ont des effets négatifs** sur les différents niveaux de la biodiversité (**doc. 4**). Elles peuvent entraîner :

– une **disparition d'espèces** par leur surexploitation (cas du thon rouge de l'Atlantique) (**activité 4**), par introduction d'espèces invasives qui supplantent les espèces préexistantes ou en raison du réchauffement climatique ;
– une **dégradation d'écosystèmes** par l'urbanisation ou les activités agricoles (**activité 4**) ;

– un **appauvrissement de la diversité génétique** de certains écosystèmes, lié par exemple à la culture intensive d'un faible nombre de variétés végétales.

● À l'inverse, **l'Homme peut préserver voire favoriser la biodiversité** par la réintroduction d'espèces (**doc. 5**), par la création de zones de protection (parcs, conservatoires botaniques) (**activité 4**).

● Ces actions sont actuellement mises en œuvre dans de nombreux pays et témoignent de l'importance portée par la collectivité au maintien de la biodiversité.

● C'est le résultat d'une prise de conscience de l'importance du patrimoine vivant. ➡ (**Questions de sciences p. 90**)

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ La biodiversité actuelle : un instantané de l'évolution

La **Terre** est une planète rocheuse du système solaire.

Sa température moyenne permet l'existence d'**eau liquide**.

L'atmosphère de la Terre est épaisse et sa composition est **favorable à la vie**.

Ces **particularités** sont liées à la taille de la Terre et à sa position 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.

La **biodiversité** correspond à la diversité des espèces, à la diversité des écosystèmes et à la diversité génétique des individus d'une espèce.

La **diversité génétique** correspond à la diversité des allèles des gènes présents chez des individus d'une même espèce.

Des espèces apparaissent et disparaissent au cours des temps géologiques. La **biodiversité varie dans le temps**.

La biodiversité actuelle est le résultat d'un **processus d'évolution** qui s'est déroulé pendant des milliards d'années. Elle ne représente qu'un moment donné de cette longue histoire.

De nombreux facteurs, dont les activités de l'Homme, modifient la biodiversité.

Les activités humaines sont actuellement responsables d'une grande **diminution de la biodiversité**. Cela pourrait constituer une nouvelle crise biologique.

À l'opposé, certaines activités humaines peuvent contribuer au maintien voire à l'**augmentation de la biodiversité**.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

■ Recenser, extraire et organiser des informations.

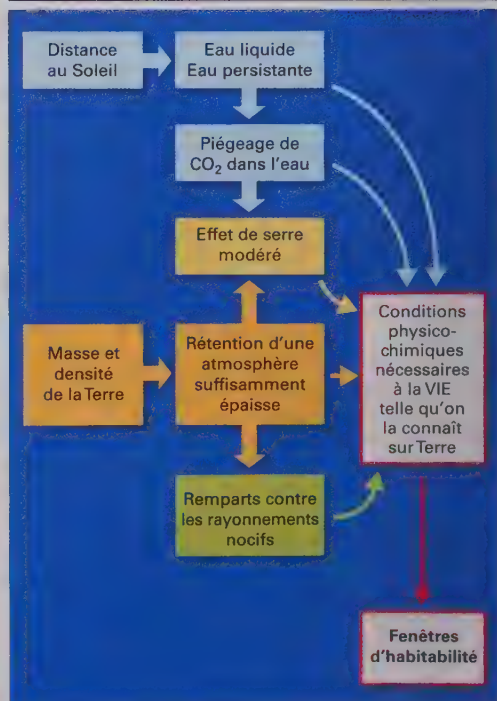
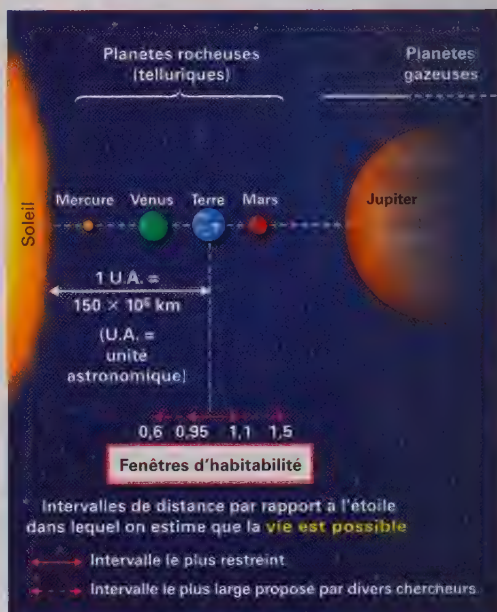
■ Utiliser des outils simples de détermination d'espèce.

■ Communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

■ Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.

■ Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement et au monde vivant.

■ Caractéristiques de la Terre permettant la présence de la vie



■ Biodiversité à différents niveaux et action de l'Homme

ACTION POSITIVE DE L'HOMME

Conservation
des écosystèmes,
agriculture
raisonnée...

Réintroduction
d'espèces,
réglementation,
parcs nationaux...

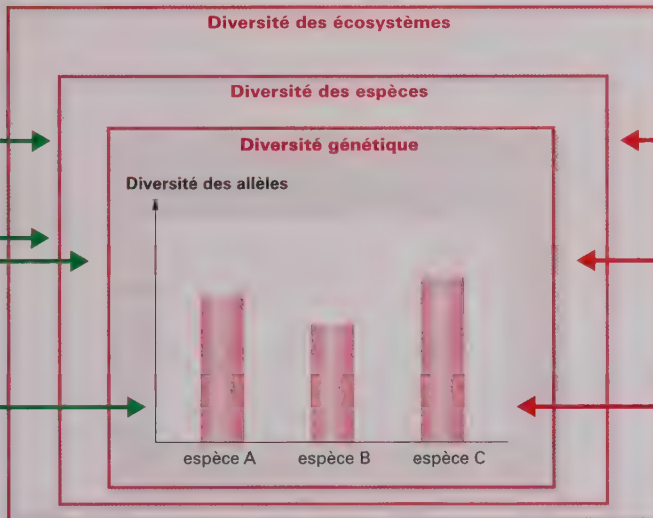
Conservatoires
de semences...

ACTION NÉGATIVE DE L'HOMME

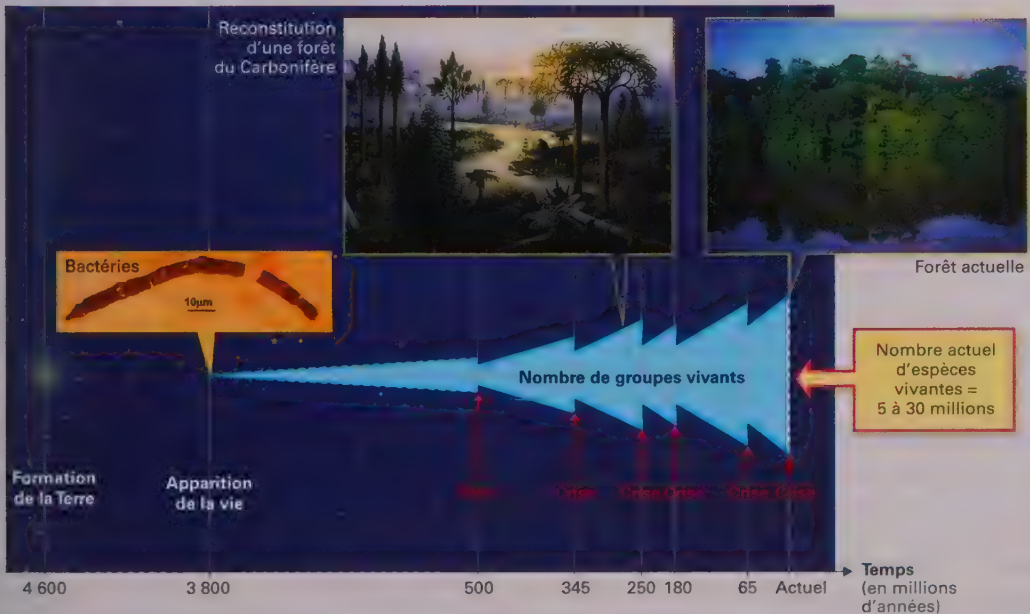
Dégradation des
écosystèmes,
pollution...

Prédation...

Sélection
de certaines
variétés...



■ Une biodiversité variable dans le temps



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** La biodiversité correspond :
 1. au nombre d'espèces différentes que l'on trouve dans un écosystème donné.
 2. au nombre d'individus différents que l'on trouve dans un écosystème donné.
 3. aux variations de l'information génétique rencontrées parmi les individus d'une même espèce.
- b.** Deux espèces différentes :
 1. peuvent avoir disparu à des périodes différentes.
 2. se distinguent par leur information génétique.
 3. occupent des écosystèmes toujours différents.
- c.** La biodiversité :
 1. actuelle est identique à celle des périodes géologiques plus anciennes.
 2. végétale est toujours composée des mêmes grands groupes depuis l'apparition des premiers végétaux.
 3. a été marquée par des crises biologiques successives.
- d.** L'évolution de la biodiversité :
 1. est toujours liée aux activités humaines.
 2. peut s'expliquer par les changements climatiques.
 3. se traduit toujours par une réduction du nombre d'espèces.

2 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Les planètes telluriques :
 1. sont les planètes les plus volumineuses.
 2. sont des planètes rocheuses.
 3. sont les plus éloignées du Soleil.
 4. comportent la planète Terre.
- b.** La distance qui sépare la Terre du Soleil :
 1. conditionne la présence d'eau.
 2. conditionne la présence d'eau liquide.
 3. est responsable de la présence d'une atmosphère.

3 Construction d'une phrase

Communiquer des idées et des données scientifiques

Rédiger une phrase à partir des mots suivants.

- a.** Fossiles, groupes, disparition.
- b.** Espèce, allèles, biodiversité.
- c.** Homme, biodiversité, aménagement.
- d.** Écosystèmes, espèces, diversité.

4 Vrai ou faux ?



Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Au sein d'une même espèce, les individus peuvent présenter des différences génétiques.
- b.** Toutes les interventions de l'Homme provoquent une réduction de la biodiversité.
- c.** La biodiversité a évolué à un rythme régulier au cours des temps géologiques.
- d.** L'Homme peut réduire la biodiversité par l'introduction d'une espèce nouvelle dans un écosystème.

5 Vrai ou faux ?

EXERCICE CORRIGÉ

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** La présence d'une atmosphère est spécifique à la planète Terre.
- b.** Jupiter est une planète géante positionnée hors de la zone habitable.
- c.** Mars est une planète gazeuse dont la surface est solide.
- d.** La présence de vie sur Terre est liée à la distance qui la sépare du Soleil.
- e.** L'eau existe sous trois états physiques sur la Terre.

6 Vrai ou faux ?

Dans chacune des phrases, indiquer :

- si la 1^{re} affirmation (A) est exacte,
- si la 2^e affirmation (B) est exacte,
- si la relation entre les deux est exacte.

A	B
a. La distance Terre – Soleil conditionne la présence d'eau liquide	la distance Terre – Soleil conditionne le développement de la vie.
b. Mars est située dans la zone habitable	l'eau liquide est susceptible d'avoir existé sur cette planète.
c. La Terre est une planète tellurique	elle possède une atmosphère riche en O ₂ .
d. L'atmosphère de la Terre est peu épaisse	cette atmosphère est favorable à la vie.

Analyser des documents

7 Les changements attendus de la biodiversité forestière Pratiquer un raisonnement scientifique

1 Les changements climatiques observés et attendus au xx^e siècle.

Les impacts observés

Au cours du xx^e siècle, la température moyenne en France a augmenté de $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les étés sont de plus en plus chauds, et le nombre de jours de gel diminue. Les précipitations sont plus importantes sur les deux tiers nord de la France et les sécheresses estivales sont plus fréquentes et plus intenses.

Les impacts attendus en France au xxi^e siècle

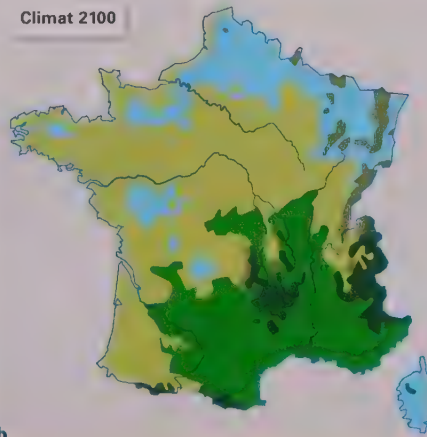
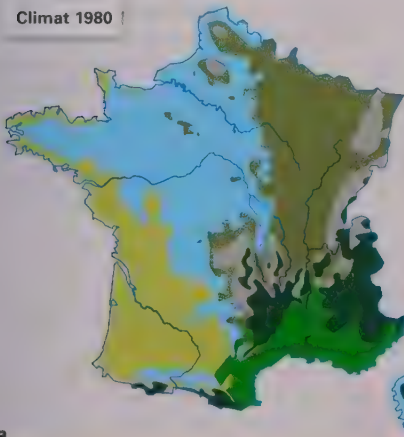
Ce qui a été observé au cours des dernières décennies pourrait s'accroître :

- Augmentation de la température moyenne de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 2100.
- Augmentation de la fréquence, de la longueur et de l'intensité des canicules estivales. La canicule de 2003 pourrait être un été normal en 2060 !
- Augmentation des précipitations en hiver et diminution en été, provoquant un assèchement prononcé au sud.

Selon les conditions de milieu (nature du sol et climat), on peut observer des associations végétales différentes que l'on nomme « groupes ». Le groupe « alpin et subalpin », par exemple, correspond à un ensemble de végétaux adaptés aux conditions que l'on rencontre actuellement dans les zones montagneuses, alors que le groupe « chêne vert » est adapté au climat du pourtour méditerranéen.

Climat 1980

Climat 2100



a.

b.

■ Groupe alpin et sub-alpin
■ Groupe sapin

■ Groupe chêne
■ Groupe châtaignier

■ Groupe pin maritime
■ Groupe chêne vert

2 Évolution possible des paysages forestiers en France d'ici 2100.

- a. Répartition de différents groupes végétaux en 1980.
b. Répartition prévue des groupes de végétaux en 2100.

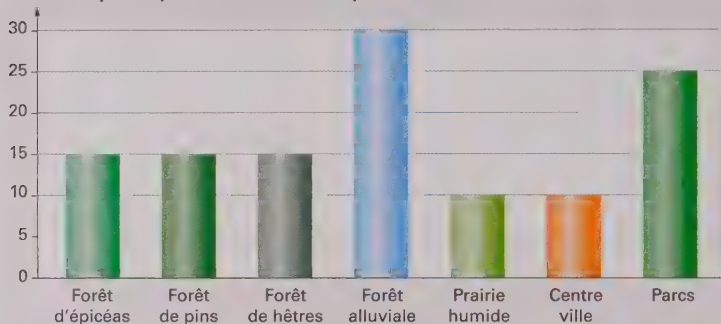
a. Utiliser le document 2 pour indiquer comment évoluerait la répartition des groupes « alpin et subalpin » et « chêne vert » d'ici 2100.

b. En utilisant les données du document 1, proposer une explication à l'évolution envisagée à la question précédente.

8 Transformation des paysages et biodiversité

Pratiquer un raisonnement scientifique

Nombre moyen d'espèces d'oiseaux nicheurs pour 10 hectares



1 La biodiversité dans différents milieux naturels et aménagés.

2 Disparition des zones humides.

En France métropolitaine, on estime qu'environ la moitié des zones humides a disparu entre 1960 et 1990. Les zones les plus touchées sont les tourbières, les landes et les prairies humides ainsi que les vallées alluviales. Il s'agit des zones des vallées dans lesquelles la pente est très douce. Ces zones constituent la partie aval des fleuves et peuvent être couvertes de forêts qualifiées d'alluviales.

Les causes les plus importantes de la détérioration ou de la disparition des zones humides sont l'augmentation de la population et le développement économique. Ces deux facteurs entraînent la construction d'infrastructures, la conversion de terres (un terrain initialement recouvert d'une forêt est transformé en un champ exploité ou en une zone constructible), la surexploitation et l'introduction d'espèces invasives comme par exemple, la jussie (espèce végétale) ou l'écrevisse américaine (espèce animale).

Après la réduction des zones humides constatée jusqu'en 1990, un ralentissement de cette tendance a été observé entre 1990 et 2000. Ces zones humides ont bénéficié dans un passé récent de la mise en œuvre de mesures de gestion ou de protection : en 2007, près de 70 % de leur superficie était concernée par au moins une mesure.

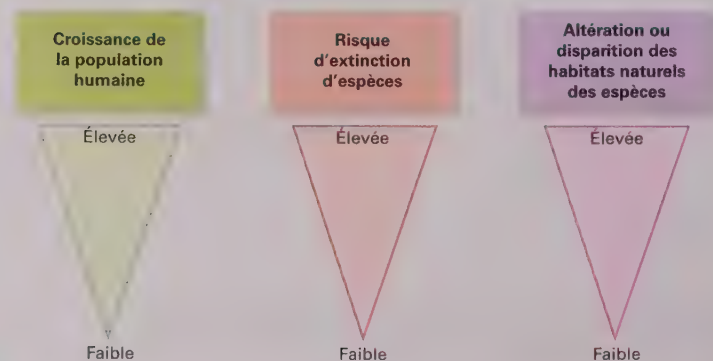
a. Indiquer le milieu qui présente la plus grande biodiversité d'oiseaux nicheurs (document 1).

b. À l'aide des informations du document 2, montrer que la biodiversité dans les zones alluviales a subi deux influences de l'Homme, l'une négative et l'autre positive.

c. Expliquer pourquoi des mesures de gestion et de protection particulières ont été prises pour la préservation des zones humides.

9 Une représentation simplifiée de la réduction de la biodiversité

Communiquer des idées et des données scientifiques



■ Rédiger un texte qui reprend les idées évoquées dans le document. Veiller à mettre en relation, de manière pertinente, ces différentes idées en indiquant les relations de causalité qui peuvent exister entre les phénomènes présentés.

Une représentation simplifiée de la diminution de la biodiversité.

10 Importance de la diversité génétique

Pratiquer un raisonnement scientifique

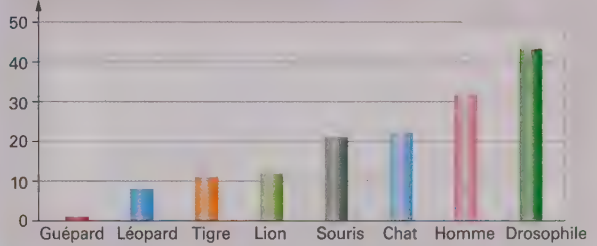


1 Une espèce menacée : le guépard.

On estime qu'il ne reste plus que 1 200 guépards que l'on ne rencontre que dans quelques zones limitées d'Afrique. Cette espèce menacée d'extinction est classée dans la catégorie des « espèces vulnérables » par l'UICN (Union mondiale pour la nature) depuis 1986.

Des populations entières de guépard ont été décimées entre autres causes par une péritonite infectieuse, maladie causée par un virus. Quand un microbe pathogène, c'est-à-dire un micro-organisme pouvant être responsable du développement d'une maladie, affecte une espèce, le nombre d'individus atteints est d'autant plus important que la diversité génétique de l'espèce est faible.

Fréquence des gènes polymorphes (en %)



2 Fréquence des gènes polymorphes (présentant plusieurs allèles), chez différentes espèces, dont le guépard.

a. À partir de l'exploitation du document 2, comparer la diversité génétique du guépard à celle des autres espèces.

b. En dehors de la destruction de son habitat et du braconnage, trouver, en tenant compte des informations du document 1, une autre explication à la disparition des guépards.

c. Quelle autre espèce présentée dans le document 2 serait la plus susceptible de voir ses effectifs fortement atteints en cas d'attaque par un microbe pathogène ? Justifier.

11 Variation de la diversité des reptiles marins au cours du temps

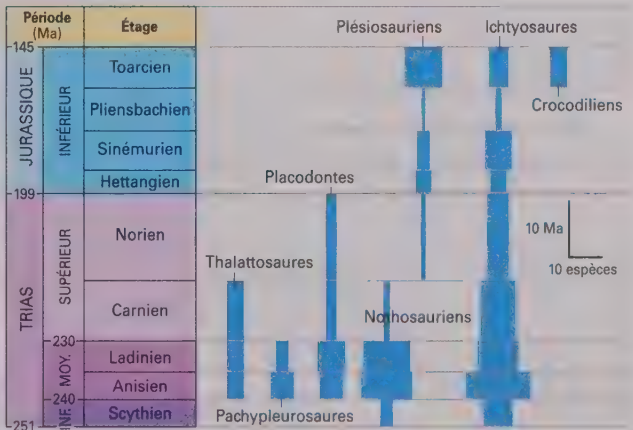
Pratiquer un raisonnement scientifique

L'étude de fossiles présents dans des roches datées de 245 à 180 millions d'années a permis de reconstituer l'évolution du nombre d'espèces de reptiles marins présents à cette époque (les membres de ce groupe partageaient un même habitat mais ne possédaient pas un même ancêtre commun).

a. Indiquer comment les données de ce document permettent de mettre en évidence une variation de la biodiversité dans le temps.

b. Déterminer l'étage durant lequel la diversité des reptiles marins était la plus importante ; la moins importante. En utilisant l'échelle du document, estimer le nombre d'espèces présentes à chacun de ces étages.

c. Trouver des arguments en faveur de l'existence d'une crise à la fin du Ladinien.



■ Variation du nombre d'espèces de reptiles marins au Trias et au Jurassique. (Ma : million d'années)

Restituer ses connaissances de façon organisée

12 Établir une synthèse

Communiquer des idées et des données scientifiques

EXERCICE CORRIGÉ

a. Montrer que la biodiversité peut être étudiée à trois échelles différentes. Illustrer la réponse à l'aide d'exemples.

b. Montrer que la biodiversité varie dans le temps et dans l'espace. Illustrer la réponse à l'aide d'exemples.

L'unité structurale

➤ La biodiversité actuelle est le fruit de l'évolution : toutes les espèces actuelles et fossiles ont pour origine les premières formes de vie apparues sur Terre il y a plus de 3 milliards d'années.

Des ressemblances entre des groupes d'êtres vivants sont observées à diverses échelles (organisme, organe, cellule, molécule). Elles constituent des arguments en faveur de la parenté des espèces appartenant à ces groupes.



1

La galerie paléontologique du Muséum d'histoire naturelle de Paris. Elle présente les squelettes de Vertébrés aujourd'hui disparus.

Quelles sont les caractéristiques communes à toutes ces espèces qui permettent de les apparenter et de les ranger dans le groupe des Vertébrés ?

et chimique du vivant



2

Grenouille de verre.

La grenouille de verre est un petit batracien qui subsiste encore dans quelques pays d'Amérique du Sud. Elle présente la particularité d'avoir une peau transparente qui laisse apparaître ses organes internes.

Comment l'étude de l'organisation interne des Vertébrés renseigne-t-elle sur la parenté des espèces de ce groupe ?



3

Différentes cellules : macrophage, bactéries et hématie.

Observés au microscope, les êtres vivants se révèlent constitués de cellules. Cette électronographie traitée en fausse couleur montre un macrophage (cellule immunitaire spécialisée dans la phagocytose) (en jaune), des bactéries (en vert) et une hématie (cellule sanguine).

En quoi l'étude des cellules constitutives des êtres vivants témoigne-t-elle de leur parenté ?

BLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1,0079	2 He 4,0026																
3 Li 6,941	4 Be 9,0122															10 Ne 20,183	
5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,183											18 Ar 39,948	
11 Na 22,990	12 Mg 24,305															36 Kr 83,80	
13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,06	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948											54 Xe 131,29	
19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Numéro atomique →

→ Masse molaire atomique (g.mol⁻¹)

Symbolique atomique →

→ Famille

Z

X

M

5	10,81	12,01	14,01	16,00	19,00	20,18											36	83,80
B	C	N	O	F	Ne											Kr		
13	26,98	28,09	30,97	32,07	35,45	39,95											54	131,29
Al	Si	P	S	Cl	Ar											Xe		

56

137,33

175,08

208,98

223,02

238,03

244,06

247,07

251,08

255,10

262,11

267,12

271,13

277,14

283,15

287,16

291,17

295,18

299,19

303,20

307,21

311,22

315,23

319,24

323,25

327,26

331,27

335,28

339,29

343,30

347,31

351,32

355,33

359,34

363,35

367,36

371,37

375,38

379,39

383,40

387,41

391,42

395,43

399,44

403,45

407,46

411,47

415,48

419,49

423,50

427,51

431,52

435,53

439,54

443,55

447,56

451,57

455,58

459,59

463,60

467,61

471,62

475,63

479,64

483,65

487,66

491,67

495,68

499,69

503,70

507,71

511,72

515,73

519,74

523,75

527,76

531,77

535,78

539,79

543,80

547,81

551,82

555,83

559,84

563,85

567,86

571,87

575,88

579,89

583,90

587,91

591,92

595,93

599,94

603,95

607,96

611,97

615,98

619,99

623,100

627,101

631,102

635,103

639,104

643,105

647,106

651,107

655,108

659,109

663,110

667,111

671,112

675,113

679,114

683,115

687,116

691,117

695,118

699,119

703,120

707,121

711,122

715,123

719,124

723,125

727,126

731,127

735,128

739,129

743,130

747,131

751,132

755,133

759,134

763,135

767,136

771,137

775,138

779,139

783,140

787,141

791,142

795,143

799,144

803,145

807,146

811,147

815,148

819,149

823,150

827,151

831,152

835,153

839,154

843,155

847,156

851,157

855,158

859,159

863,160

867,161

871,162

875,163

879,164

883,165

887,166

891,167

895,168

899,169

903,170

907,171

911,172

915,173

919,174

923,175

927,176

931,177

935,178

939,179

943,180

947,181

951,182

955,183

959,184

963,185

967,186

971,187

975,188

979,189

983,190

987,191

991,192

995,193

999,194

1003,195

1007,196

1011,197

1015,198

1019,199

1023,200

1027,201

1031,202

1035,203

1039,204

1043,205

1047,206

1051,207

1055,208

1059,209

1063,210

1067,211

1071,212

1075,213

1079,214

1083,215

1087,216

1091,217

1095,218

1099,219

1103,220

1107,221

1111,222

1115,223

1119,224

1123,225

1127,226

1131,227

1135,228

1139,229

1143,230

1147,231

1151,232

1155,233

1159,234

1163,235

1167,236

1171,237

1175,238

1179,239

1183,240

1187,241

1191,242

1195,243

1199,244

1203,245

1207,246

1211,247

1215,248

1219,249

1223,250

1227,251

1231,252

1235,253

1239,254

1243,255

1247,256

1251,257

1255,258

1259,259

1263,260

1267,261

1271,262

1275,263

1279,264

1283,265

1287,266

1291,267

1295,268

1299,269

1303,270

1307,271

1311,272

1315,273

1319,274

1323,275

1327,276

1331,277

1335,278

1339,279

1343,280

1347,281

1351,282

1355,283

1359,284

1363,285

1367,286

1371,287

1375,288

1379,289

1383,290

1387,291

1391,292

1395,293

1399,294

1403,295

1407,296

1411,297

1415,298

1419,299

1423,300

1427,301

1431,302

1435,303

1439,304

1443,305

1447,306

1451,307

1455,308

1459,309

1463,310

1467,311

1471,312

1475,313

1479,314

1483,315

1487,316

1491,317

1495,318

1499,319

1503,320

1507,321

1511,322

1515,323

1519,324

1523,325

1527,326

1531,327

1535,328

1539,329

1543,330

1547,331

1551,332

1555,333

1559,334

1563,335

1567,336

1571,337

1575,338

1579,339

1583,340

1587,341

1591,342

1595,343

1599,344

1603,345

1607,346

1611,347

1615,348

1619,349

1623,350

1627,351

1631,352

1635,353

1639,354

1643,355

1647,356

1651,357

1655,358

1659,359

1663,360

1667,361

1671,362

1675,363

1679,364

1683,365

1687,366

1691,367

1695,368

1699,369

1703,370

1707,371

1711,372

1715,373

1719,374

1723,375

1727,376

1731,377

1735,378

1739,379

1743,380

1747,381

1751,382

1755,383

1759,384

1763,385

1767,386

1771,387

1775,388

1779,389

1783,390

1787,391

1791,392

1795,393

1799,394

1803,395

1807,396

1811,397

1815,398

1819,399

1823,400

1827,401

1831,402

1835,403

1839,404

1843,405

1847,406

1851,407

1855,408

1859,409

1863,410

1867,411

1871,412

1875,413

1879,414

1883,415

1887,416

1891,417

1895,418

1899,419

1903,420

1907,421

1911,422

1915,423

1919,424

1923,425

1927,426

1931,427

1935,428

1939,429

1943,430

1947,431

1951,432

1955,433

1959,434

1963,435

1967,436

1971,437

1975,438

1979,439

1983,440

1987,441

1991,442

1995,443

1999,444

2003,445

2007,446

2011,447

2015,448

2019,449

2023,450

2027,451

2031,452

2035,453

2039,454

2043,455

2047,456

2051,457

2055,458

2059,459

2063,460

2067,461

2071,462

2075,463

2079,464

2083,465

2087,466

2091,467

2095,468

2099,469

2103,470

2107,471

2111,472

2115,473

2119,474

2123,475

2127,476

2131,477

2135,478

2139,479

2143,480

2147,481

2151,482

2155,483

2159,484

2163,485

2167,486

2171,487

2175,488

2179,489

2183,490

2187,491

2191,492

2195,493

2199,494

2203,495

2207,496

2211,497

2215,498

2219,499

2223,500

2227,501

2231,502

2235,503

2239,504

2243,505

2247,506

2251,507

2255,508

2259,509

2263,510

2267,511

2271,512

2275,513

2279,514

2283,515

2287,516

2291,517

2295,518

2299,519

2303,520

2307,521

2311,522

2315,523

2319,524

2323,525

2327,526

2331,527

2335,528

2339,529

2343,530

2347,531

2351,532

2355,533

2359,534

2363,535

2367,536

2371,537

2375,538

2379,539

2383,540

2387,541

2391,542

2395,543

2399,544

2403,545

2407,546

2411,547

2415,548

2419,549

2423,550

2427,551

2431,552

2435,553

2439,554

2443,555

2447,556

2451,557

2455,558

2459,559

2463,560

2467,561

2471,562

2475,563

2479,564

2483,565

2487,566

2491,567

2495,568

2499,569

2503,570

2507,571

2511,572

2515,573

2519,574

2523,575

2527,576

2531,577

2535,578

2539,579

2543,580

2547,581

2551,582

2555,583

2559,584

2563,585

2567,586

2571,587

2575,588

2579,589

2583,590

2587,591

2591,592

2595,593

2599,594

2603,595

2607,596

2611,597

2615,598

2619,599

2623,600

2627,601

2631,602

2635,603

2639,604

2643,605

2647,606

2651,607

2655,608

2659,609

2663,610

2667,611

2671,612

2675,613

2679,614

2683,615

2687,616

2691,617

2695,618

2699,619

2703,620

2707,621

2711,622

2715,623

2719,624

2723,625

2727,626

2731,627

2735,628

2739,629

2743,630

2747,631

2751,632

2755,633

2759,634

2763,635

2767,636

2771,637

2775,638

2779,639

2783,640

2787,641

2791,642

2795,643

2799,644

2803,645

2807,646

2811,647

2815,648

2819,649

2823,650

2827,651

2831,652

2835,653

2839,654

2843,655

2847,656

2851,657

2855,658

2859,659

2863,660

2867,661

2871,662

2875,663

2879,664

2883,665

2887,666

2891,667

2895,668

2899,669

2903,670

2907,671

2911,672

2915,673

2919,674

2923,675

2927,676

2931,677

2935,678

2939,679

2943,680

2947,681

2951,682

2955,683

2959,684

2963,685

2967,686

2971,687

2975,688

2979,689

2983,690

2987,691

2991,692

2995,693

2999,694

3003,695

3007,696

3011,697

3015,698

3019,699

3023,700

3027,701

3031,702

3035,703

3039,704

3043,705

3047,706

3051,707

3055,708

3059,709

3063,710

3067,711

3071,712

3075,713

3079,714

3083,715

3087,716

3091,717

3095,718

3099,719

3103,720

3107,721

3111,722

3115,723

3119,724

3123,725

3127,726

3131,727

3135,728

3139,729

3143,730

3147,731

3151,732

3155,733

3159,734

3163,735

3167,736

3171,737

3175,738

3179,739

3183,740

3187,741

3191,742

3195,743

3199,744

3203,745

3207,746

3211,747

3215,748

3219,749

3223,750

3227,751

3231,752

3235,753

3239,754

3243,755

3247,756

3251,757

3255,758

3259,759

3263,760

3267,761

3271,762

3275,763

3279,764

3283,765

3287,766

3291,767

3295,768

3299,769

3303,770

3307,771

3311,772

3315,773

3319,774

3323,775

3327,776

3331,777

3335,778

3339,779

3343,780

3347,781

3351,782

3355,783

3359,784

3363,785

3367,786

3371,787

3375,788

3379,789

3383,790

3387,791

3391,792

3395,793

3399,794

3403,795

3407,796

3411,797

3415,798

3419,799

3423,800

3427,801

3431,802

3435,803

3439,804

3443,805

3447,806

3451,807

3455,808

3459,809

3463,810

3467,811

3471,812

3475,813

3479,814

3483,815

3487,816

3491,817

3495,818

3499,819

3503,820

3507,821

3511,822

3515,823

3519,824

3523,825

3527,826

3531,827

3535,828

3539,829

3543,830

3547,831

3551,832

3555,833

3559,834

3563,835

3567,836

3571,837

3575,838

3579,839

3583,840

3587,841

3

4

Tableau de la classification périodique des éléments de Mendeleïev.

Le tableau périodique des éléments, ou tableau de Mendeleïev, a été créé en 1869 par le Russe Dimitri Mendeleïev. Il regroupe tous les éléments chimiques connus, classés en fonction de leur nombre de protons ou numéro atomique. Les éléments présents dans une même colonne ont des propriétés chimiques semblables.

Comment l'étude de la constitution chimique et moléculaire des êtres vivants renseigne-t-elle sur leur parenté ?

Organisation des êtres vivants



Nous savons que les organismes vivants sont classés en groupes emboîtés définis uniquement à partir des caractères qu'ils possèdent en commun. Ces caractères déterminés par les scientifiques permettent de situer des organismes vivants dans la classification actuelle.

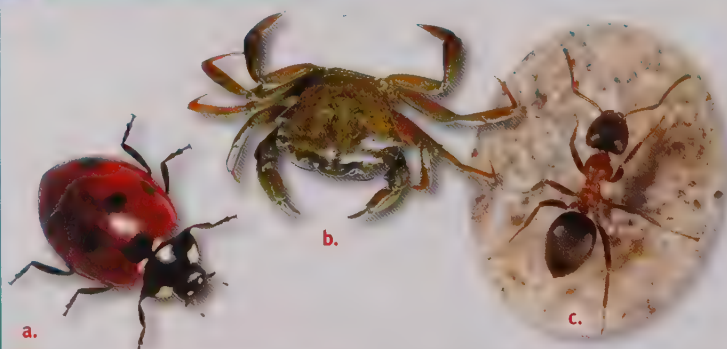


Comment établir des liens de parenté chez les Vertébrés à partir de données morphologiques et anatomiques ?

OBJECTIFS

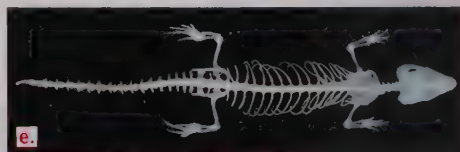
- **Connaissances** : montrer que l'existence de certains caractères morphologiques et anatomiques communs permet d'établir des parentés.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : classer des organismes.

A Caractères et classification de quelques animaux



1 Morphologie de quelques animaux ne possédant pas de squelette interne osseux.

a. Coccinelle. b. Crabe. c. Fourmi. d. Méduse.



2 Squelette osseux de quelques animaux.

a. Squelette de poisson (carpe). b. Squelette de salamandre. c. Squelette de rat. d. Squelette d'oiseau (pigeon). e. Squelette de lézard.

VOCABULAIRE

Caractère : une caractéristique (ou attribut) portée par un organisme.

Polarité antéro-postérieure : disposition des organes le long d'un axe virtuel allant de l'avant (par exemple la tête) vers l'arrière (par exemple la queue) d'un organisme.

B

Principe de classification en groupes emboîtés

Il est possible d'organiser une classification de plusieurs espèces sous la forme de groupes emboîtés. La classification prend alors la forme du document 2. Il s'agit ici d'un exemple, le nombre de groupes et leur positionnement étant variables selon les espèces à classer ; le nom des espèces n'a pas été placé dans les différents groupes.

Caractère A

Caractère C

Caractère B

Caractère D

2 La classification en groupes emboîtés.

On réunit dans un même groupe tous les êtres vivants qui possèdent un caractère commun. Un sous-groupe est un ensemble entièrement contenu dans le groupe. Les êtres vivants qui constituent un sous-groupe partagent le même caractère. Ce caractère est absent en dehors du sous-groupe. Groupes et sous-groupes forment des groupes emboîtés.

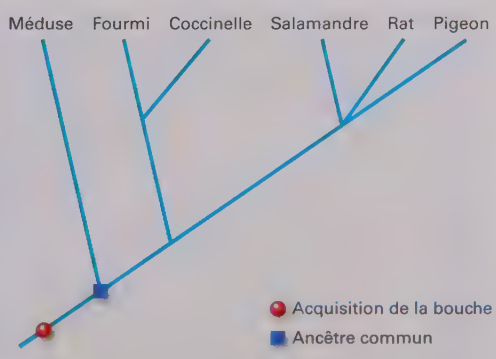
C

L'arbre phylogénétique

3 Arbre phylogénétique traduisant les relations de parenté entre quelques êtres vivants.

a. La représentation d'un arbre phylogénétique.

Un arbre phylogénétique, également appelé arbre de parenté ou d'évolution, est une représentation qui associe les groupes apparentés, c'est-à-dire qui possèdent un même ancêtre commun. Dans cet arbre, chaque **branche** est terminée par une espèce. On peut positionner, sur certaines des branches, les **innovations évolutives** (apparition, disparition ou transformation d'un caractère), symbolisées ici par une sphère rouge. Chaque innovation évolutive est apparue chez un organisme qui l'a transmise à tous ses descendants ; cet organisme est donc un **ancêtre hypothétique et commun**, car partagé par tous les organismes possédant cette innovation évolutive. Les différents ancêtres communs sont positionnés aux nœuds de l'arbre (point de séparation de plusieurs branches).



b. Cet arbre traduit les relations de parenté entre les êtres vivants présentés page 32. Il est volontairement incomplet :

- une seule innovation a été positionnée (l'acquisition de la bouche),
- un seul ancêtre commun a été placé,
- trois êtres vivants (le crabe, la carpe et le lézard) et leur branche respective n'ont pas été représentés.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Construire un tableau à double entrée. • Donner un titre. • La présence d'un caractère est noté 1 et son absence 0.
- Construire une classification en groupes emboîtés respectant la forme de celle présentée. • Indiquer lisiblement et correctement les caractères dans chacun des groupes. • Répartir l'ensemble des êtres vivants dans les groupes et sous-groupes qui leur correspondent. • Donner un titre au schéma.

EXPLOITATION

- À l'aide des photographies des documents 1 et 2, **construire** un tableau indiquant la présence ou l'absence des caractères suivants chez les neuf êtres vivants de la page 32 : *bouche, squelette osseux interne, symétrie bilatérale, vertèbres, 4 membres, 6 pattes, polarité antéro-postérieure**. (→ Voir fiche méthode p. 260)
- En utilisant les données du tableau établi précédemment, **réaliser** sous la forme de groupes emboîtés la classification des êtres vivants de la page 32.
- À l'aide des données disponibles (photographies, tableau), recopier et **compléter** l'arbre phylogénétique proposé en positionnant correctement :
 - les innovations évolutives qui correspondent à l'acquisition des différents caractères étudiés ;
 - les trois absents de l'arbre (crabe, carpe et lézard), avec leur branche respective ;
 - l'ancêtre commun à tous les Vertébrés.
- Recenser** les caractères portés par l'ancêtre commun à tous les Vertébrés.

Organisation interne des Vertébrés

Nous savons que les Vertébrés présentent différents appareils ou systèmes (digestif, cardio-respiratoire, reproducteur, nerveux...) constitués de différents organes.

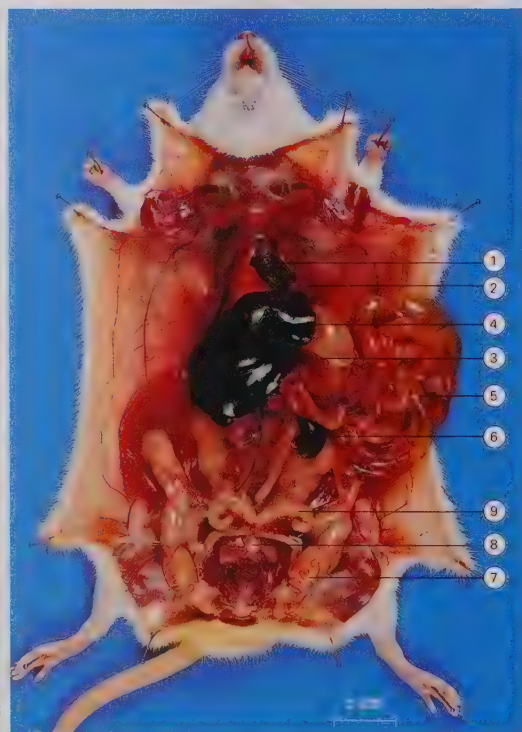


Comment l'étude de la disposition des organes dans la cavité générale des Vertébrés constitue-t-elle un argument en faveur de leur parenté ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer qu'il existe une organisation interne commune chez les Vertébrés et que cette organisation peut être différente chez d'autres groupes d'êtres vivants.
- **Capacités** : manipuler d'après un protocole ; communiquer à l'écrit : schéma.

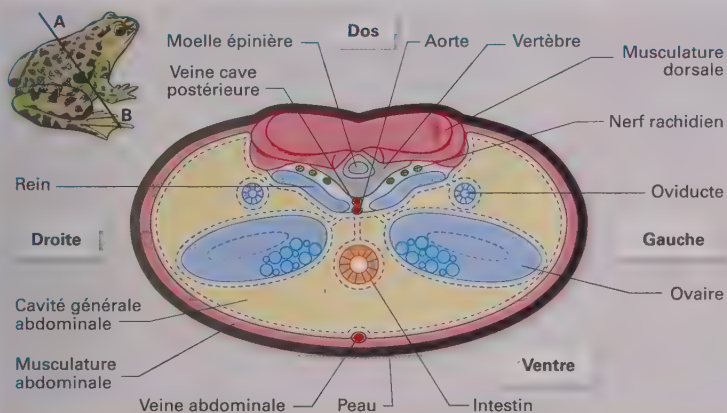
A Comparaison de l'organisation interne de deux Vertébrés



1 Organisation interne d'un rat mâle en vue ventrale.
Disposition des organes dans la cavité générale :
① Cœur, ② Poumon droit, ③ Estomac, ④ Foie, ⑤ Intestin,
⑥ Rein, ⑦ Testicule gauche, ⑧ Vessie, ⑨ Vésicule séminale gauche.

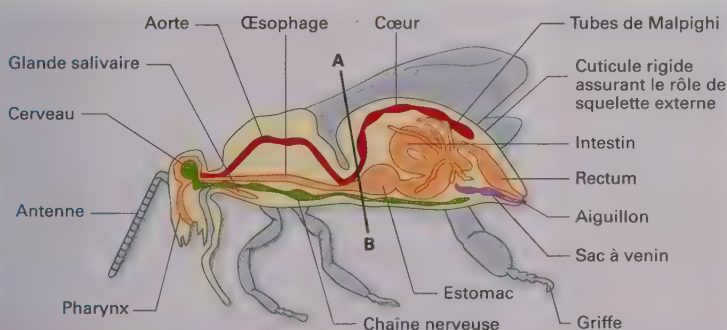


2 Organisation interne d'une grenouille mâle en vue ventrale.
Disposition des organes dans la cavité générale :
① Cœur, ② Poumon droit, ③ Estomac, ④ Foie, ⑤ Intestin,
⑥ Vessie, ⑦ Testicule gauche, ⑧ Corps adipeux.



■ Appareil circulatoire ■ Appareil nerveux ■ Appareil digestif ■ Appareils urinaire et génital

3 Organisation schématique de l'abdomen d'une grenouille femelle en coupe transversale.



■ Appareil circulatoire ■ Appareil nerveux ■ Appareil digestif et excréteur ■ Appareil vulnérant

4 Organisation schématique d'un insecte (abeille) en coupe longitudinale.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

1. Respecter les étapes du protocole. Ne pas endommager les organes, les rendre visibles à l'issue de la dissection. Nettoyer et ranger le matériel à la fin de la dissection.

3. Réaliser sur une 1/2 page le schéma. Orienter correctement les axes et présenter les structures avec des formes géométriques simples et un volume proportionnel au volume réel de l'organe. Respecter le code couleur indiqué, légender et titrer le schéma.

4. Orienter la coupe (dos, ventre, droite, gauche) et positionner correctement les structures.

EXPLOITATION

1. Repérer la colonne vertébrale de l'animal à disséquer. Elle contient la moelle épinière. Réaliser ensuite la dissection en ouvrant la cavité générale de l'animal. (→ Voir fiche méthode p. 260 et vidéo)

2. Identifier sur la dissection les structures et organes suivants : colonne vertébrale, intestin, foie, estomac, reins, cœur, poumon, vessie, gonades (doc. 1 et 2).

3. Construire un graphique, axe antéro-postérieur en abscisse et axe dorso-ventral en ordonnée. À partir des observations issues de la dissection, présenter dans ce système d'axes la disposition relative des structures suivantes : moelle épinière, reins, foie, estomac, cœur, poumons, intestin, vessie. Entourer en orange les structures de l'appareil digestif, en rouge celles de l'appareil cardio-respiratoire, en vert celles du système nerveux, et en bleu celles de l'appareil uro-génital. Comparer les figures obtenues pour la souris et la grenouille.

4. Exploiter le document 4 : réaliser un schéma de coupe transversale thoracique d'abeille (coupe située entre les 2^e et 3^e paires de pattes) indiquant la position du système nerveux (en vert), de l'appareil digestif (en orange) et de l'aorte (en rouge). Comparer cette coupe à celle du document 3. Quelles différences essentielles d'organisation spatiale apparaissent ?

Organisation des êtres vivants à l'échelle cellulaire

Nous savons que la cellule est l'unité d'organisation des êtres vivants. Une cellule possède un noyau, une membrane et un cytoplasme.

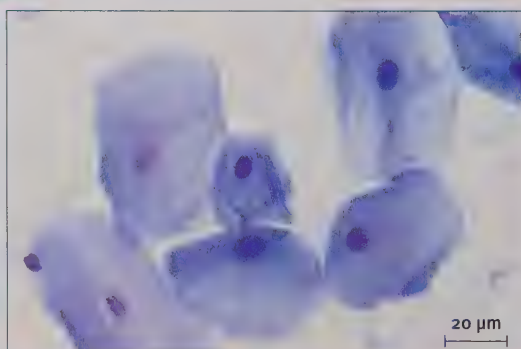


Peut-on retrouver à l'échelle cellulaire des points communs entre les êtres vivants ?

OBJECTIFS

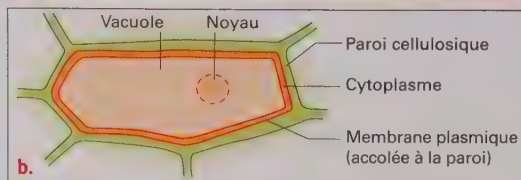
- **Connaissances** : comparer l'organisation des cellules de différents êtres vivants pour trouver des arguments en faveur de leur parenté.
- **Capacités** : utiliser les technologies de l'information et de la communication (Mesurim).

A Mise en évidence de quelques caractéristiques cellulaires



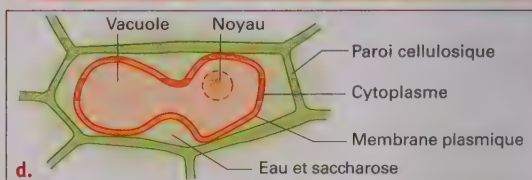
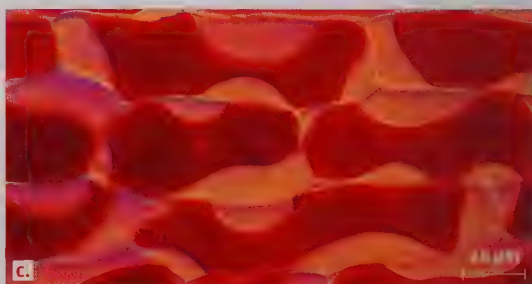
1 Observation au microscope photonique d'un frottis buccal humain (x100).

Le frottis buccal est monté dans du bleu de méthylène. La taille moyenne d'une cellule buccale est de 0,04 mm. Les cellules qui tapissent la cavité buccale constituent un tissu, l'épithélium buccal. Les cellules superficielles se désolidarisent facilement de celles situées plus profondément. Pour les prélever, il suffit de gratter légèrement l'intérieur de la joue avec un coton-tige. Le bleu de méthylène est un colorant qui augmente les contrastes en se fixant sur diverses structures comme les noyaux.



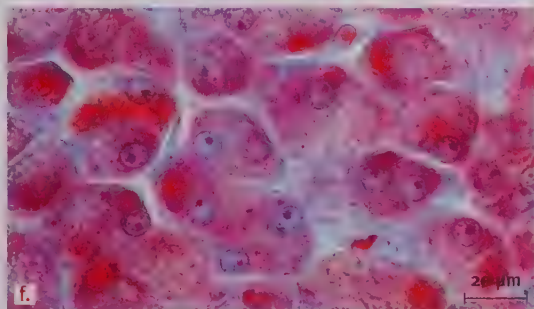
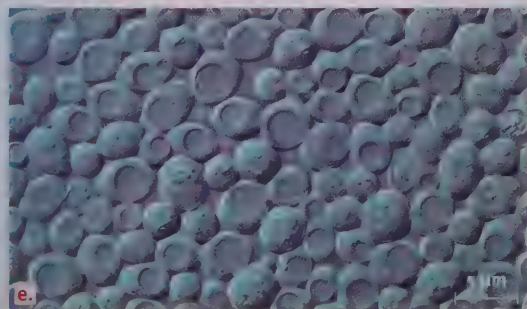
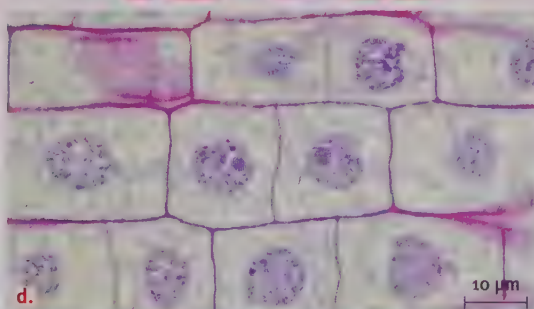
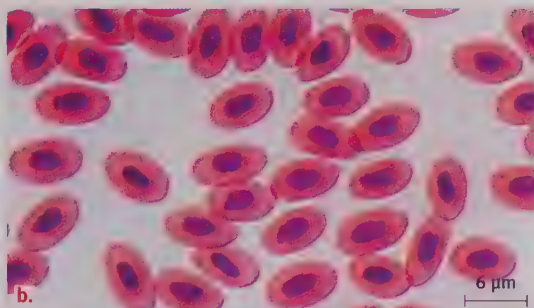
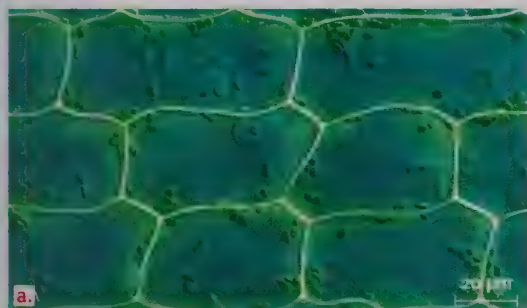
2 Observation au microscope photonique d'épiderme d'oignon rouge (x100).

- Observation microscopique immédiatement après montage dans une goutte de saccharose.
- Schéma interprétatif de l'organisation d'une cellule.



c. Observation microscopique cinq minutes après montage dans une goutte de saccharose.

d. Schéma interprétatif d'une cellule. L'aspect de la vacuole s'explique par le fait que la cellule a perdu de l'eau. Cette dernière s'est déplacée vers le milieu de montage, hors de la cellule.



3 Observations au microscope photonique de cellules de divers êtres vivants.

- a. Cellules de feuille d'élodée (végétal aquatique) montées dans de l'eau. b. Cellules sanguines d'oiseau.
c. Cellules d'épiderme de grenouille montées dans de l'eau. d. Cellules de racine d'oignon.
e. Levure (champignon unicellulaire). f. Cellules de pancréas humain.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Savoir enregistrer l'image sélectionnée. Savoir l'ouvrir avec le logiciel *Mesurim*.
• Vérifier la qualité des contours du dessin. Indiquer des légendes complètes. Donner un titre au dessin qui précise l'objet observé, le mode d'observation, le colorant utilisé et le grossissement utilisé.
- Lors de l'utilisation du logiciel *Mesurim*, définir correctement l'échelle ; utiliser correctement l'outil « mesure » et reporter des valeurs exactes sur le dessin.

EXPLOITATION

1. Utiliser le logiciel *Mesurim* pour acquérir une image d'observation microscopique de frottis d'épithélium buccal et pour réaliser un dessin de cette observation microscopique. (→ Voir le tutoriel du logiciel *Mesurim*.)
2. Une cellule buccale mesure environ 0,04 mm. Convertir cette valeur en micromètres et indiquer la démarche à mettre en œuvre pour calculer la taille réelle du noyau d'une cellule d'épithélium buccal.
3. Utiliser les fonctionnalités du logiciel *Mesurim*, pour calculer puis faire apparaître ces valeurs sur le dessin réalisé à la question 1. (→ Voir le tutoriel du logiciel *Mesurim*.)
4. « Une cellule est un espace clos qui réalise des échanges avec l'extérieur. » Trouver des arguments en faveur de cette affirmation en exploitant les doc. 1 et 2.
5. Exploiter l'ensemble des documents 1 à 3 pour citer des arguments en faveur de la parenté des êtres vivants.

Ultrastructures et parenté à l'échelle cellulaire

Nous savons que les organismes vivants sont tous constitués de cellules. Ce constat est un indice de la parenté entre les êtres vivants. Étudiée en microscopie optique, la cellule apparaît comme un espace cellulaire, limité par la membrane plasmique qui contient le cytoplasme.



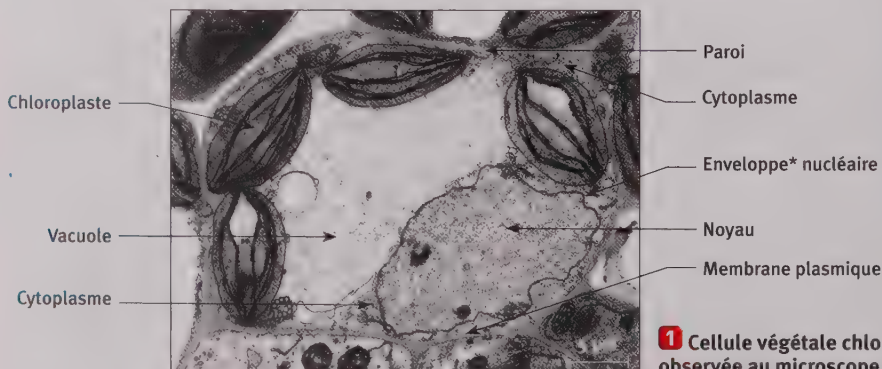
Comment les ultrastructures observées peuvent-elles apporter des arguments en faveur d'une parenté des êtres vivants ?

OBJECTIFS

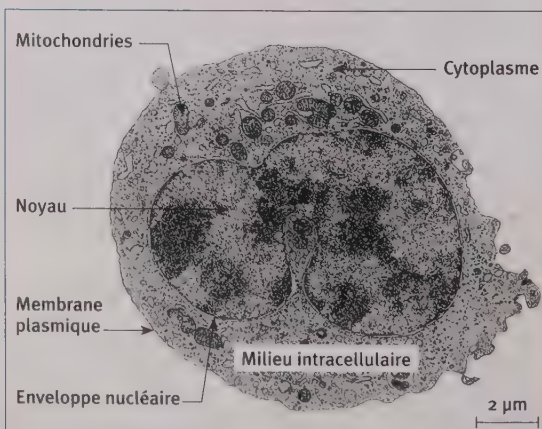
- **Connaissances** : montrer, grâce à l'analyse microscopique, l'existence d'une parenté entre les êtres vivants à l'échelle cellulaire malgré une diversité des cellules.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : observer et modéliser.

A Ultrastructures de cellules végétales et animales

Les électronographies, images obtenues avec un microscope électronique, permettent de révéler la présence des ultrastructures* cellulaires, c'est-à-dire des constituants microscopiques des cellules, uniquement visibles en microscopie électronique.



1 Cellule végétale chlorophyllienne observée au microscope électronique.



2 Cellule animale (ici un leucocyte) observée au microscope électronique.

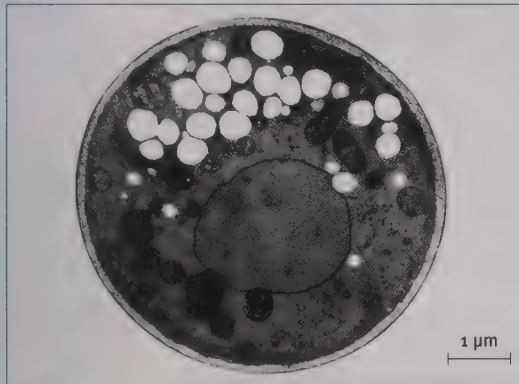
VOCABULAIRE

Enveloppe : ensemble de deux membranes séparées par un espace et limitant un organe.

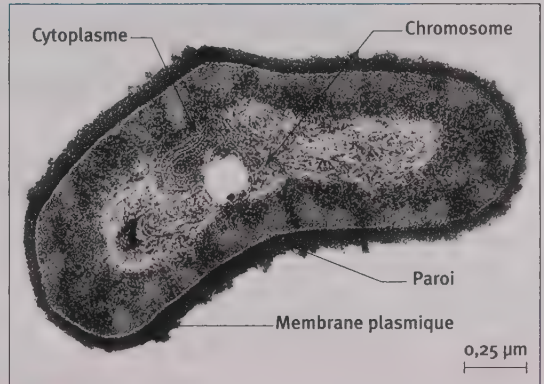
Organe : structure spécialisée, éventuellement entourée d'une membrane, et localisée dans le cytoplasme de la cellule.

Ultrastructure : constituant microscopique des cellules, uniquement visible en microscopie électronique.

Ultrastructures de cellules de champignons et de bactéries



3 Cellule de champignon (ex. : levure) observée au microscope électronique.



4 Cellule bactérienne observée au microscope électronique.

Modèle analogique de la structure d'une cellule

5 Réaliser une modélisation cellulaire.

Protocole

1. Matériel

- Sacs transparents (type sacs de congélation) : petits et grands modèles.
- Cristalliseur (ou aquarium).
- Ficelle bleue.
- Eau et colorants alimentaires.

2. Correspondance entre constituants cellulaires et matériel

- Paroi cellulaire : cristalliseur (ou aquarium).
- Membrane plasmique : grand sac transparent.
- Membrane des organites : petits sacs transparents.
- Cytoplasme : eau incolore.
- Chromosome : ficelle bleue.
- Noyau : sac contenant la ficelle bleue.
- Chloroplaste : sac rempli de liquide vert.
- Mitochondrie : sac rempli de liquide rouge.
- Vacuole : sac rempli de liquide jaune.

3. Consignes de réalisation

- Remplir les sacs avec le liquide ou les matériaux colorés correspondants sans respecter le volume respectif réel des différents organites*. Fermer les sacs.
- Disposer les différents sacs afin de modéliser l'intégralité de la cellule.



Modélisation d'une cellule végétale.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Chaque modèle ne doit contenir qu'un seul exemplaire de chacun des organites.
- Les différents organites doivent être représentés par la couleur correspondante.
- Les différents constituants cellulaires doivent être représentés en un seul exemplaire.
- La couleur attribuée à chaque constituant cellulaire doit être conforme à celle utilisée dans le modèle.

EXPLOITATION

- À partir des photographies de microscopie électronique, **réaliser un modèle analogique** de chaque type cellulaire (bactérie, animal, végétal chlorophyllien, champignon) (**doc. 1 à 5**).
- En se basant sur les différents modèles réalisés, **schématiser** chaque type cellulaire. **Légender** et **titrer** chacun des schémas.
- En utilisant les constituants des cellules (à l'exception de la paroi) et en appliquant les consignes présentées dans l'activité 1, **réaliser** une classification en groupes emboîtés des quatre types cellulaires.

Composition et unité chimique des êtres vivants

Nous savons que les êtres vivants sont constitués de molécules organiques, parmi lesquelles les glucides, les lipides, les protéides et l'ADN. Les molécules sont elles-mêmes formées par l'association d'éléments chimiques.

Tout organisme vivant produit sa propre matière à partir de celle qu'il prélève dans le milieu.

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer les particularités et l'origine de la composition chimique des êtres vivants ; montrer l'unité chimique des êtres vivants.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations ; manipuler d'après un protocole.



Quelle est la composition moléculaire des êtres vivants ? Peut-elle fournir des arguments en faveur d'une parenté entre les êtres vivants ?

A Les éléments constitutifs de la matière dans différents compartiments

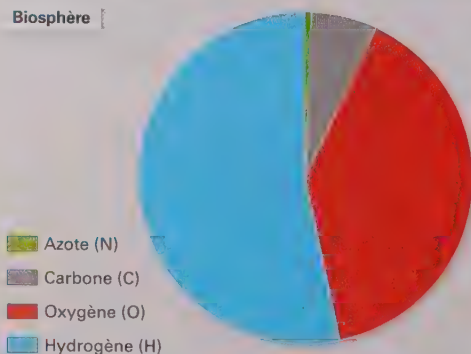
On a déterminé la composition chimique de différents compartiments de la planète Terre : biosphère, croûte et manteau, noyau.

Éléments	H	O	C	N	Ca	K	Si	Fe	Mg	Al	Mn	Ni
Compartiments												
Biosphère	53	39	6,5	0,5	0,3750	0,2250	0,1200	0,0375	0,1000	0,0550	0,0210	0
Croûte et manteau	Trace	44,80	Trace	Trace	2,31	0,03	21,50	5,85	22,78	2,16	0,12	0,20
Noyau	—	4,00	Trace	0	0	—	7,00	80,00	0	0	0	8,00
Terre entière	Trace	32,40	Trace	Trace	0,16	0,02	17,20	28,20	15,90	0,15	0,30	1,60

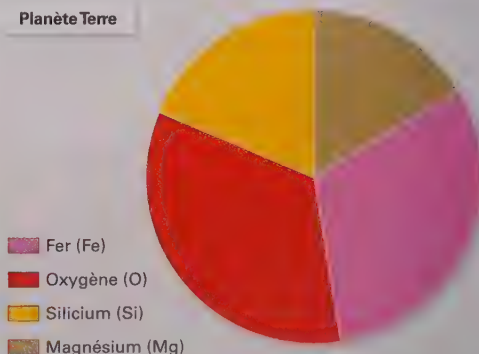
1 Composition chimique moyenne de différents compartiments.

La composition chimique est exprimée en pourcentage pondéral qui correspond au pourcentage en masse d'un élément chimique (rapport de la masse totale d'un élément sur la masse totale du compartiment, multiplié par 100). Le total des valeurs peut-être inférieur à 100, car certains éléments chimiques ont été négligés dans ce tableau. (Le symbole « — » signifie qu'il n'y a pas de valeur connue.)

Biosphère



Planète Terre



2 Composition chimique de la biosphère.

3 Composition chimique de la planète Terre.

Constituants (en % de la masse cellulaire totale)	Cellule bactérienne	Cellule de champignon	Cellule de mammifère
Eau	70	82,5	70
Ions inorganiques (Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ ...)	1	0,5	1
Protides	15	6	18
Acides nucléiques	1	0,5	0,25
Lipides	2	2	5
Glucides	2	2,5	2
Autres molécules	9	6	3,75

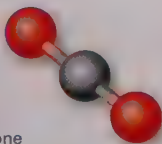
2 Composition chimique moyenne de différentes cellules.

Les cases à **fond orange** correspondent à des molécules minérales.
Les cases à **fond bleu** correspondent à des molécules organiques.

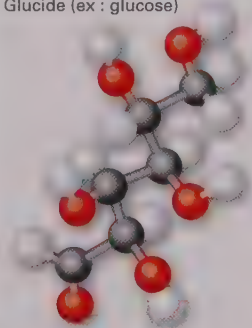
Eau



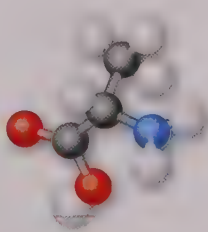
Dioxyde de carbone



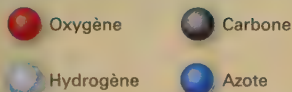
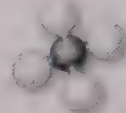
Glucide (ex : glucose)



Protide (ex : alanine)

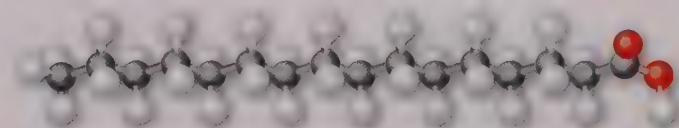


Méthane



a.

b.



Lipide (ex : acide palmitique)

3 Modélisation de différentes molécules minérales et organiques contenues et produites par des êtres vivants.

Les échelles des divers clichés sont différentes. L'intégralité des atomes de chaque molécule est représentée.

a. Molécules minérales. b. Molécules organiques.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

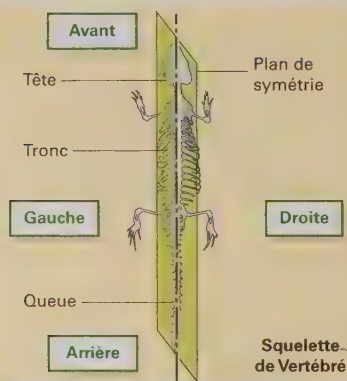
- Créer deux graphiques (de type histogramme) : l'un doit présenter les proportions des quatre éléments chimiques majeurs de la biosphère, l'autre les quatre éléments chimiques majeurs de la Terre.
- Respecter la proportion de chaque élément chimique.
- Représenter par des couleurs différentes chaque élément chimique.
- Titrer et légender chaque graphique.

EXPLOITATION

- À partir des données du document 1, **créer**, avec un tableur, un graphique indiquant les proportions des quatre éléments chimiques majoritaires constitutifs de la biosphère et de la planète (→ voir fiche méthode p. 260).
- Trouver** un argument (**doc. 1**) en faveur de l'expression suivante « Les constituants des êtres vivants ont pour origine des éléments chimiques disponibles sur la planète Terre. »
- Mettre en œuvre** le protocole de mise en évidence de quelques molécules minérales et organiques avec différents échantillons animaux et végétaux (fiche technique).
- Montrer** qu'il existe une unité chimique à la fois qualitative et quantitative des êtres vivants (**doc. 2**).
- À partir des données des documents 2 et 3, **déterminer** les particularités chimiques des molécules organiques qui les distinguent des molécules minérales.

1

Une organisation commune des êtres vivants, témoin d'une parenté



1 Organisation générale des Vertébrés.

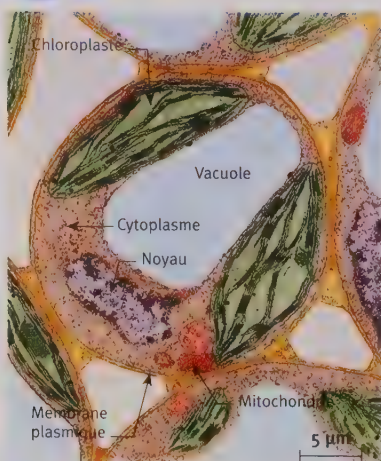
● L'étude des êtres vivants montre l'existence de similitudes dans leur organisation (**activités 1 et 2**). Ainsi, chez les **Vertébrés** (doc. 1 et 2), nous observons la présence systématique de différents caractères :

- un plan de **symétrie bilatérale**, qui sépare le corps en deux parties, droite et gauche ;
- une **polarité antéro-postérieure**, selon laquelle se succèdent, d'avant en arrière, une tête, un tronc et une queue ;
- une **polarité dorso-ventrale**, avec un système nerveux central, contenu dans la colonne vertébrale et situé dorsalement, et un appareil digestif en position ventrale ;
- un **squelette osseux**, constitué entre autres d'un crâne et de vertèbres.

● Toutes les espèces actuelles et fossiles qui possèdent les caractères cités précédemment les ont hérités d'un **ancêtre commun**. Elles sont donc apparentées et constituent le groupe des Vertébrés.

2

La cellule, unité structurale des êtres vivants



3 Cellule eucaryote (ici, une cellule végétale) observée au microscope électronique.

● Tous les êtres vivants sont constitués d'une ou plusieurs **cellules**. Ils sont, de ce fait, des organismes unicellulaires ou pluricellulaires.

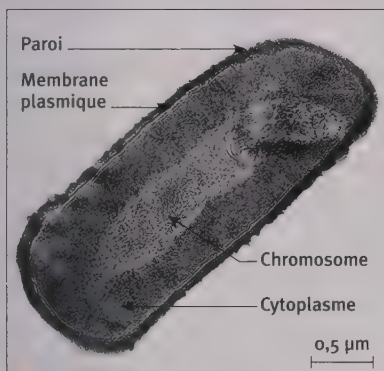
● La cellule est une entité de **petite taille**, en général quelques dizaines de micromètres, dont l'étude structurale nécessite l'emploi d'un microscope.

● La cellule est limitée par une **membrane plasmique** et contient du **cytoplasme** (**activité 3**). Celui-ci comporte des **organites**, dont certains sont limités par une membrane (**activité 4**). On distingue deux grands types de cellules : les cellules **eucaryotes** et les cellules **procaryotes**.

● Les **cellules eucaryotes** (doc. 3) contiennent plusieurs **organites limités par une membrane**, comme le noyau qui renferme l'information génétique, une ou plusieurs vacuoles, des chloroplastes, des mitochondries... Leur taille est généralement comprise entre 10 et 100 µm.

Les **animaux pluricellulaires**, les **végétaux chlorophylliens** et les **champignons** possèdent tous des cellules eucaryotes. La membrane plasmique des cellules des deux derniers groupes est doublée extérieurement par une **paroi**.

Chez les végétaux chlorophylliens, certaines cellules renferment des chloroplastes. Ces organites ne sont jamais présents dans les cellules des animaux pluricellulaires et des champignons.



4 Cellule procaryote (ici, une bactérie) observée au microscope électronique.

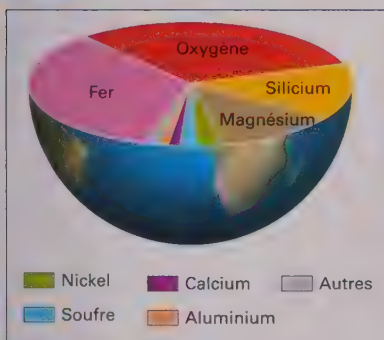
● Les cellules procaryotes (doc. 4) ne contiennent **pas d'organe limité par une membrane**. Leur information génétique est portée par un **chromosome libre** dans le cytoplasme. Leur taille, de l'ordre de quelques micromètres, est en général inférieure à celle des cellules eucaryotes.

Les bactéries **sont des cellules procaryotes** dont la membrane plasmique est également doublée extérieurement par une paroi.

● Malgré une diversité structurale, la présence d'une membrane et d'un cytoplasme fonde l'**état cellulaire**. L'unité d'organisation cellulaire de tous les êtres vivants témoigne de leur **parenté**.

● La diversité cellulaire se traduit par la variété de taille, de forme et des constituants des cellules.

3 Les molécules du vivant, témoins d'une parenté



5 Composition chimique du globe terrestre.

● Les êtres vivants partagent avec le monde minéral les mêmes **éléments chimiques**, mais dans des proportions différentes : au sein de la géosphère (doc. 5), les éléments les plus représentés sont l'oxygène (O), le fer (Fe), le silicium (Si) et le magnésium (Mg) (**activité 5**). Dans la biosphère, on distingue quatre éléments majeurs : l'oxygène (O), le carbone (C), l'hydrogène (H) et l'azote (N).

● Ces éléments chimiques constituent deux grands types de molécules présentes chez tous les êtres vivants : **molécules minérales** (eau et sels minéraux) et **molécules organiques**. Une molécule organique est constituée de carbone et d'hydrogène, auxquels s'ajoutent d'autres éléments comme l'oxygène, l'azote... Les molécules organiques sont essentiellement produites par les êtres vivants.

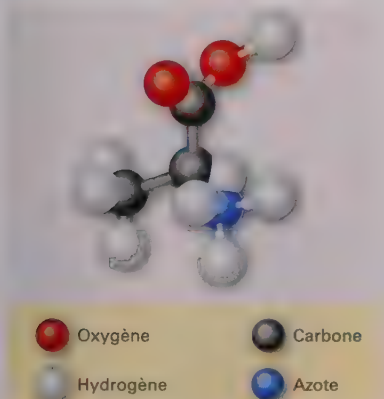
L'eau (molécule minérale) est la molécule prépondérante dans la constitution des êtres vivants : elle représente environ 70 à 75 % de la masse des êtres vivants.

● On distingue, chez les êtres vivants, **quatre grandes catégories de molécules organiques**, c'est-à-dire de molécules construites à partir de l'**élément carbone** :

- les glucides, constitués essentiellement de C, H et O, le nombre d'atomes de carbone (C) étant égal au nombre d'atomes d'oxygène (O) ;
- les lipides, constitués essentiellement de C, H et O, le nombre d'atomes de carbone (C) étant supérieur au nombre d'atomes d'oxygène (O) ;
- les protides (doc. 6), constitués essentiellement de C, H, O et N ;
- les acides nucléiques, constitués essentiellement de C, H, O, N et P.

● Les êtres vivants sont donc essentiellement constitués d'eau et de molécules carbonées.

● Ils présentent tous les mêmes éléments chimiques majeurs et les mêmes types de molécules organiques. Leur substance fondamentale est l'eau. Cette unité de constitution chimique, qualitative et quantitative, constitue un indice supplémentaire de la parenté des êtres vivants.



6 Les molécules organiques, des molécules carbonées. Exemple de l'alanine (protide).

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ L'unité structurale et chimique du vivant



Les Vertébrés ont une **organisation commune**, caractérisée par la possession d'un plan de symétrie bilatérale, d'une polarité dorso-ventrale, d'une polarité antéro-postérieure et d'un squelette osseux.

La possession de caractéristiques communes au sein d'un groupe d'êtres vivants témoigne de **leur parenté**.

La cellule est une **unité structurale** commune à tous les êtres vivants, ce qui témoigne en faveur de leur parenté.

On distingue deux grands types de cellules : les cellules **eucaryotes** et les cellules **procaryotes**.

Les **cellules eucaryotes** possèdent un noyau et d'autres organites limités par une membrane.

Les **cellules procaryotes** ne possèdent pas de noyau ni d'autres organites limités par une membrane.

Les êtres vivants sont constitués de **substances minérales**, dont l'**eau** qui est leur constituant majeur. Ils comportent aussi de la matière carbonée, sous la forme de **substances organiques**.

Les cellules des êtres vivants sont constituées des mêmes types de **molécules minérales** et **organiques**, ce qui témoigne de leur parenté.

Les **éléments chimiques** constituant la matière des êtres vivants sont les mêmes que ceux qui constituent le globe terrestre mais dans des proportions différentes.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

■ Pratiquer une démarche scientifique : classer des organismes ; observer et modéliser.

■ Manipuler d'après un protocole.

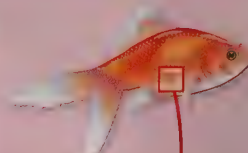
■ Utiliser les technologies de l'information et de la communication.

■ Recenser, extraire et organiser des informations.

■ Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.

■ Différentes échelles d'organisation du vivant et du non vivant

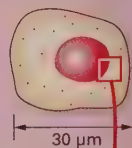
Vivant



Organisme

10 cm

Cellule



30 μ m

Molécules

• Minérales

- Exemple H_2O

• Organiques

- Glucides

- Lipides

- Protides

- Acides nucléiques

Taille moyenne 1 nm

Atomes

H, C, N, O, Mg, Si, Fe,...

Taille < 0,1 nm

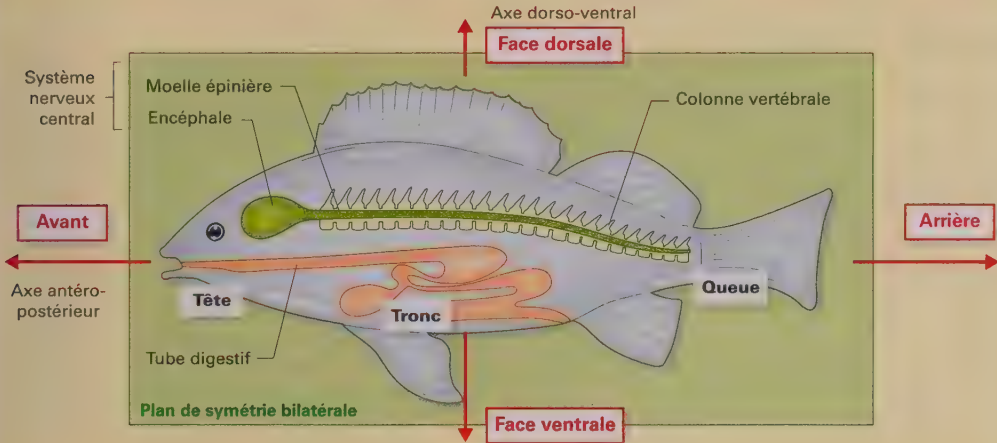
Non vivant

Terre

Rayon :
6 378 km



■ Une organisation commune aux différents Vertébrés



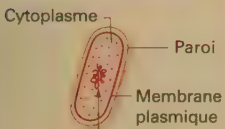
■ Organisation cellulaire des êtres vivants et parenté



Organisation cellulaire (membrane plasmique et cytoplasme)

Absence de noyau
et d'autres organites
limités par
une membrane

Cellule procaryote



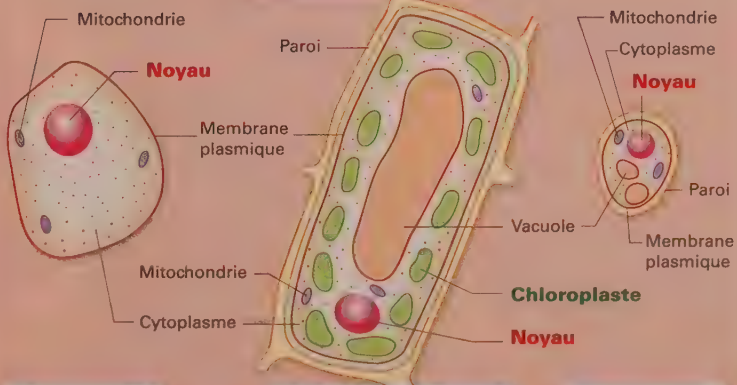
Information
génétique
libre

Bactérie

(2 µm)

Présence d'un noyau et d'autres organites limités par une membrane

Cellule eucaryote



**Cellule buccale
d'homme**

(40 µm)

**Cellule chlorophyllienne
de feuille**

(150 µm)

**Levure
(champignon)**

(5 µm)

□ Paroi — Membrane plasmique ▨ Cytoplasme

Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Toutes les cellules ont en commun la présence :
1. d'un noyau.
 2. d'un cytoplasme.
 3. d'une paroi.
 4. d'une membrane plasmique.
- b.** Les cellules végétales se distinguent des cellules animales par la présence :
1. d'une membrane plasmique.
 2. d'une paroi.
 3. d'un noyau.
 4. d'organites dans le cytoplasme.
 5. d'une vacuole.
- c.** Les cellules procaryotes se distinguent des cellules eucaryotes par :
1. l'absence d'un noyau.
 2. la présence de vacuoles.
 3. une taille toujours supérieure.
 4. la présence d'une information génétique.
- d.** Tous les Vertébrés :
1. possèdent un même ancêtre commun.
 2. ont un système nerveux disposé ventralement.
 3. présentent une symétrie bilatérale.

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Une vacuole contient l'information génétique de la cellule.
- b.** Un chloroplaste est un organite qui peut exister chez les cellules eucaryotes.
- c.** Le chloroplaste est un organite présent chez toutes les cellules végétales.
- d.** Les cellules végétales sont limitées par une membrane plasmique et une paroi.
- e.** Les glucides, lipides et protides sont des molécules organiques.
- f.** Les éléments chimiques constitutifs des êtres vivants sont présents dans les mêmes proportions qu'au sein du globe terrestre.
- g.** C, H, O et N sont les éléments majeurs des glucides.

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Cellule procaryote **b.** Cellule eucaryote **c.** Glucide
d. Organite **e.** Noyau

4 Construction d'une phrase

EXERCICE CORRIGÉ

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a.** Cellule, information génétique, eucaryote, noyau.
b. Colonne vertébrale, Vertébrés, vertèbres, côté dorsal.
c. Vertébrés, symétrie bilatérale, côté dorsal.
d. Éléments chimiques, cellule, molécule, organismes.

5 Restitution de connaissances

Rédiger un texte.

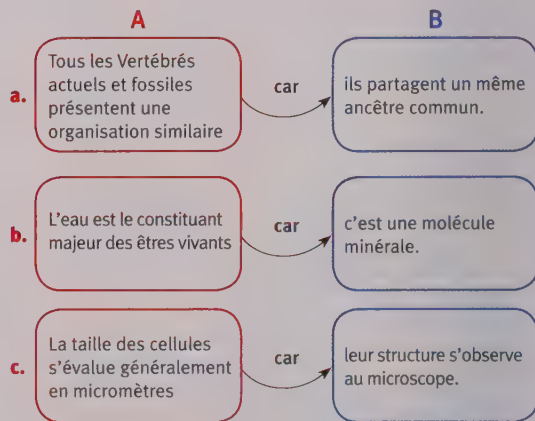
- a.** Comparer une cellule procaryote et une cellule eucaryote.
b. Indiquer les caractères communs aux Vertébrés.
c. Indiquer en quoi l'étude des Vertébrés, à l'échelle des organismes, des cellules et des molécules permet de mettre en évidence une parenté entre les Vertébrés.

6 Vrai ou faux ?



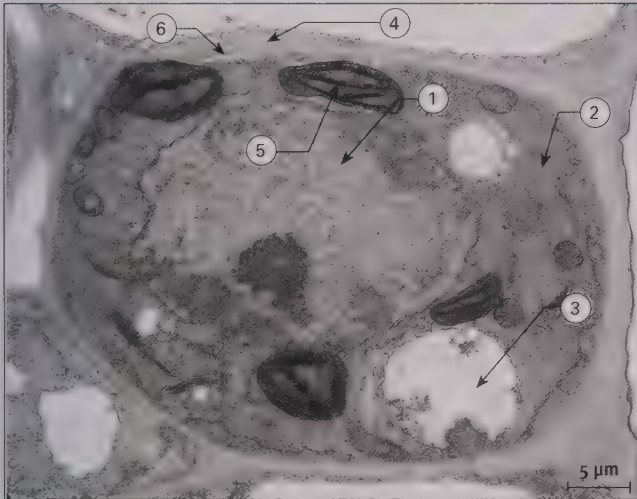
Dans chacune des phrases, indiquer :

- si la 1^{re} affirmation (A) est exacte,
- si la 2^e affirmation (B) est exacte,
- si la relation entre les deux est exacte.



Analyser des documents

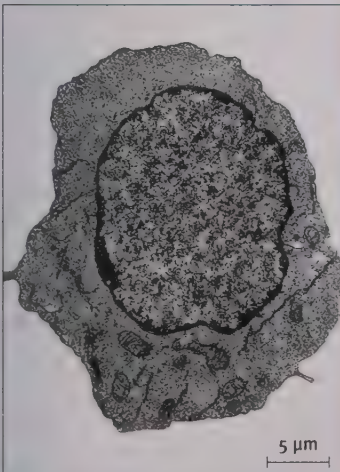
7 Analyse d'une électronographie



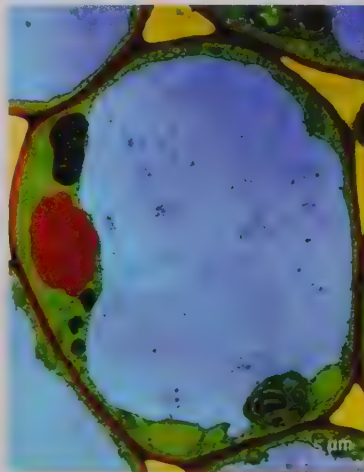
■ Cellule chlorophyllienne observée au microscope électronique.

- Réaliser un croquis de la cellule représentée sur le document.
- Indiquer les légendes qui correspondent aux numéros 1, 2, 3, 4, 5 et 6.
- Déterminer si la cellule représentée est une cellule procaryote ou eucaryote et si cette cellule appartient à un animal ou à un végétal. Justifier.
- Calculer la taille réelle de la cellule en micromètres ; indiquer la démarche utilisée.

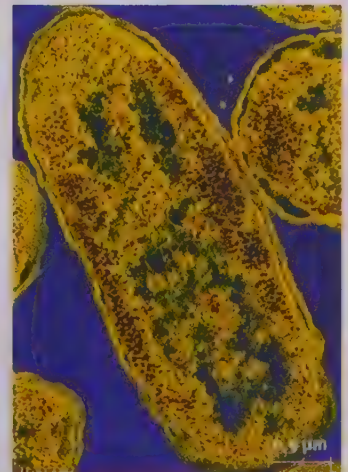
8 Unité et diversité à l'échelle cellulaire



1 Ultrastructures d'une cellule eucaryote, ici une cellule animale, observée au microscope électronique.



2 Ultrastructures d'une cellule eucaryote, ici une cellule végétale, observée au microscope électronique.



3 Ultrastructures d'une cellule procaryote, ici une bactérie, observée au microscope électronique.

- Exploiter les documents pour illustrer, sous forme d'un texte, l'idée selon laquelle il existe une unité et une diversité de la vie à l'échelle cellulaire.

9 Étude de squelettes de Vertébrés



Représentation de squelettes de Vertébrés.

■ Argumenter l'idée de parenté chez les Vertébrés à partir de l'exploitation du document.

11 Organisation d'un Vertébré

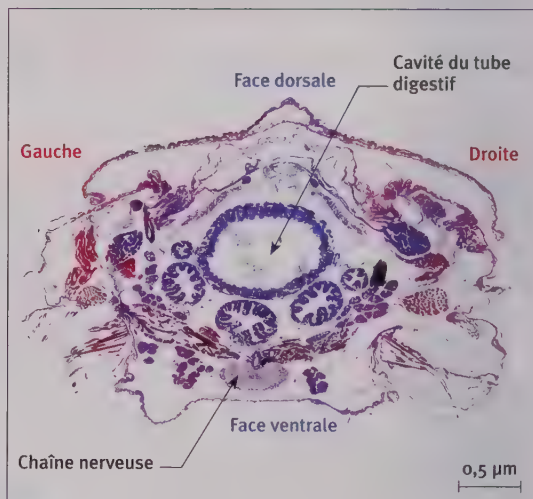


a. Retrouver dans le document des arguments en faveur de l'appartenance de cet embryon au groupe des Vertébrés.

b. Réaliser un schéma de ce squelette, puis le compléter en traçant l'axe de polarité antéro-postérieure. Accompagner cet axe du nom de deux organes permettant de définir cet axe.

■ Squelette d'un embryon de souris en fin de développement.

10 Organisation d'un être vivant



■ Coupe transversale au niveau du thorax d'un animal.

a. Indiquer la démarche à mettre en œuvre pour déterminer si la coupe transversale présentée appartient ou non à un Vertébré.

b. Analyser le document pour déterminer si l'animal chez lequel a été réalisée cette coupe est ou non un Vertébré.

12 Composition de la matière : vivant ou non vivant ?

Composant	Pourcentage du poids total	Nombre de molécules par cellule
Eau	70	24,3 milliards
Protéines	15	2,4 millions
Acides nucléiques	7	255 000
Glucides	3	1,4 million
Lipides	2	22 millions
Intermédiaires métaboliques	2	Nombreux millions
Minéraux	1	Nombreux millions

1 Composition moléculaire d'un échantillon trouvé sur Terre.

■ Indiquer les indices qui prouvent que cet échantillon appartient au monde vivant et non au monde inerte.

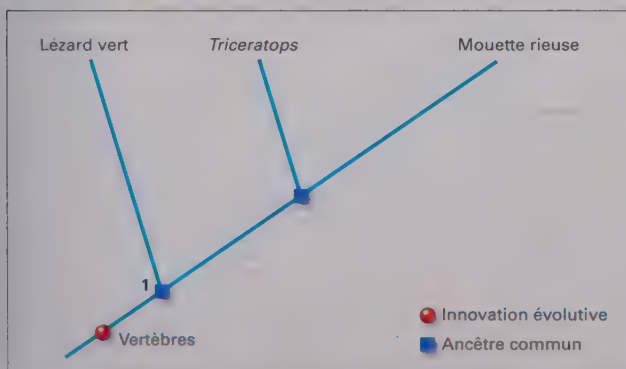
13 Liens de parenté entre Vertébrés actuels et fossiles

EXERCICE CORRIGÉ

Le tableau ci-dessous indique la présence ou l'absence de différents caractères chez des Vertébrés actuels (la mouette rieuse et le lézard vert) et deux Vertébrés fossiles (*Triceratops* et *Velociraptor*). Un arbre d'évolution est construit à partir des données du tableau.

Caractères Organismes	Clavicules soudées en une fourchette	Pied s'appuyant vers l'avant sur 3 doigts tournés vers l'avant	Mandibule présentant une fenêtrure	Vertèbres présentes
Lézard vert 	non	non	non	oui
<i>Triceratops</i> 	non	non	oui	oui
Mouette rieuse 	oui	oui	oui	oui
<i>Velociraptor</i> 	oui	oui	oui	oui

1 Caractères présents chez différents Vertébrés actuels et fossiles.



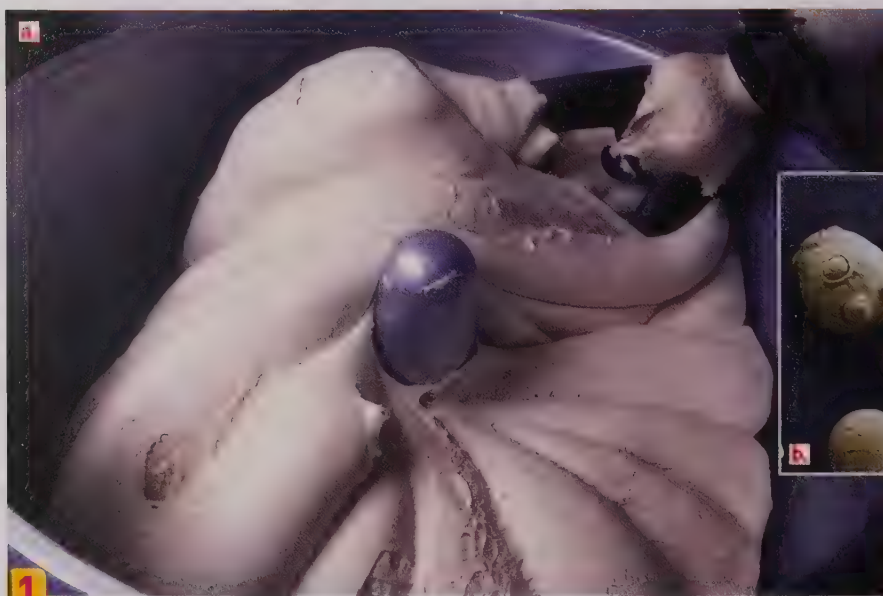
a. Recopier l'arbre phylogénétique et positionner sur cet arbre les innovations évolutives qui correspondent à l'acquisition des caractères indiqués dans le tableau.

b. Rajouter une branche à l'arbre phylogénétique pour situer *Velociraptor* ; préciser la démarche utilisée.

c. En exploitant l'arbre, indiquer quels caractères possède l'ancêtre commun à toutes ces espèces (situé au point 1). Justifier.

2 Arbre phylogénétique.

👉 Le fonctionnement d'une cellule s'accompagne des nombreuses réactions chimiques qui mettent en jeu des échanges entre la cellule et son milieu. Ces transformations moléculaires sont contrôlées par l'information génétique de la cellule, portée par une molécule universelle : l'ADN. Le fonctionnement cellulaire est également sous la dépendance de facteurs environnementaux.



1

Métabolisme de la levure selon les conditions environnementales.

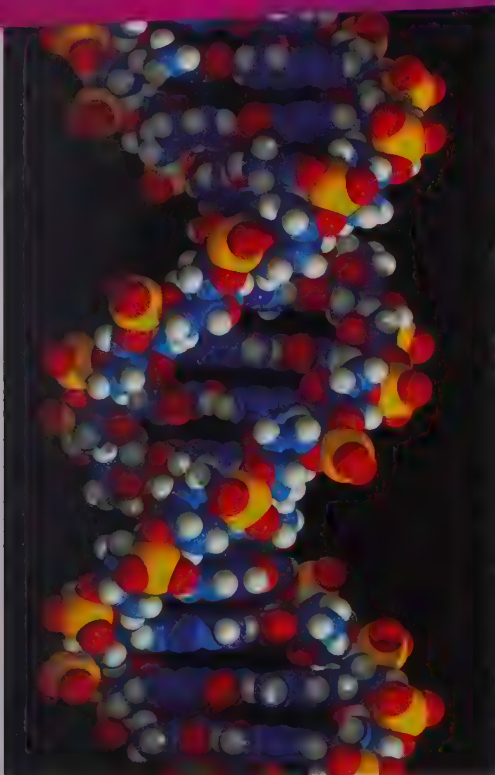
a. Pâte à pain. Le pain est élaboré grâce à l'intervention de micro-organismes : les levures. Dans la pâte à pain, en absence de dioxygène, les levures réalisent une fermentation dont le dégagement de dioxyde de carbone provoque la levée de la pâte.

b. La levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae*, est un champignon unicellulaire utilisé dans la fabrication du pain et de nombreux autres aliments. Cette utilisation nécessite la production industrielle de la levure. Dans ce cas, les cultures cellulaires sont placées en présence de dioxygène. Les levures respirent et se multiplient abondamment par bourgeonnement.

Quelles sont les réactions chimiques effectuées par ces cellules ?

Quels facteurs contrôlent l'activité des cellules ?

Organisation cellulaires



2

Modélisation d'un fragment de la molécule d'ADN.

Chaque chromosome est constitué d'une molécule, l'ADN, qui peut se compacter lors de la division cellulaire, ce qui facilite l'observation des chromosomes.

Comment mettre en évidence que cette molécule est le support de l'information génétique ?

Comment peut-elle porter l'information génétique ?

Les sphères de couleur différente représentent les atomes qui constituent la molécule.

- Hydrogène
- Carbone
- Oxygène
- Azote
- Phosphore



3

Souris transgéniques.

Ces souris transgéniques sont fluorescentes lorsqu'elles sont exposées aux rayons ultraviolets. Leurs cellules sont devenues capables de produire une protéine, la GFP (*green fluorescent protein*), après avoir reçu un gène présent naturellement chez une méduse.

Comment expliquer qu'un gène de méduse puisse s'exprimer dans les cellules de souris ?

L'activité respiratoire des levures et son contrôle génétique

Nous savons que la respiration consiste en une absorption de dioxygène et un rejet de dioxyde de carbone. Le dioxygène et les nutriments sont convertis en énergie au cours des réactions chimiques. Cette énergie permet le fonctionnement des cellules.

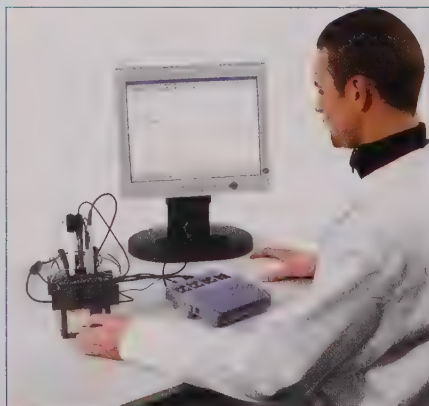


Quels sont les échanges effectués par les levures avec leur milieu au cours de la respiration ? Comment l'activité respiratoire des levures est-elle contrôlée ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer l'existence d'un métabolisme cellulaire et de son contrôle par l'environnement et le patrimoine génétique.
- **Capacités** : manipuler et expérimenter ; pratiquer une démarche scientifique : raisonner.

A Les échanges cellulaires au cours de la respiration chez les levures



1 Dispositif ExAO permettant de mesurer les concentrations en CO_2 et en O_2 d'une suspension.

Il est possible d'enregistrer l'évolution de la concentration des gaz (dioxygène et dioxyde de carbone) présents dans une solution grâce à des sondes spécifiques (sonde à O_2 et sonde à CO_2) qui plongent dans cette suspension. Si la suspension contient des levures, organismes unicellulaires, les mesures effectuées doivent permettre de déterminer certains échanges gazeux effectués par les levures avec leur milieu.

3 Glucose et énergie.

Lors de la respiration, le glucose, substrat organique, est, en présence de dioxygène, totalement dégradé en eau et en dioxyde de carbone. Cette réaction fournit l'énergie que la cellule utilise.

2 Respiration des levures et mesures des échanges gazeux.

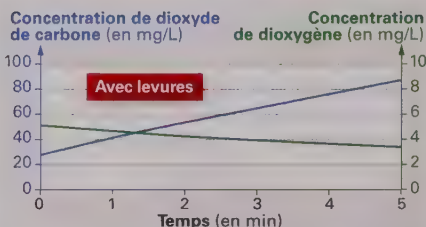
Protocole

1. Préparer deux expériences en respectant la composition de la suspension indiquée dans le tableau.
Le glucose est un substrat utilisé par les levures au cours de la respiration.

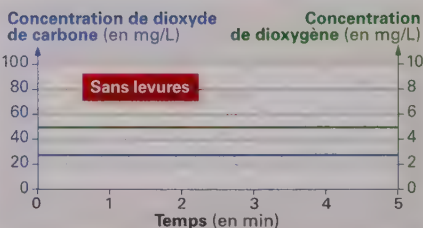
Expérience	1	2
Constituants		
Eau, O_2	Oui	Oui
Levures	Oui	Non
Glucose	Oui	Oui

2. Maintenir constante la température ($T = 23^\circ\text{C}$) pendant l'expérience.

3. Réaliser pour chacune des expériences, la mesure simultanée de la teneur en O_2 et en CO_2 du milieu à l'aide du dispositif ExAO du document 1.

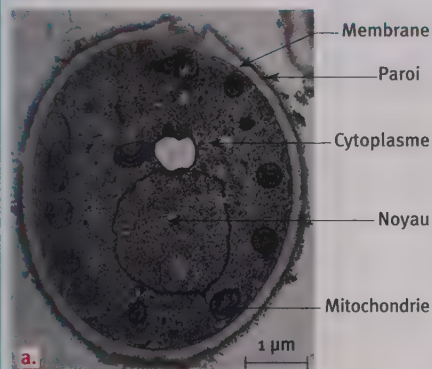


a. Évolution de la concentration en O_2 et en CO_2 en présence de levures.



b. Évolution de la concentration en O_2 et en CO_2 en absence de levures.

B Mitochondries, siège de la respiration



4 Électronographies de levures cultivées en présence ou en absence de dioxygène.

- a.** Levure cultivée dans un milieu riche en dioxygène.
b. Levure cultivée dans un milieu dépourvu de dioxygène.

C Le contrôle génétique de l'activité respiratoire des levures

5 Consommation de dioxygène et caractéristiques des mitochondries des différentes souches de levures.

a. Les conditions expérimentales.

La levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae*, est une espèce qui comporte plusieurs souches différentes. Chaque souche regroupe des levures génétiquement identiques entre elles.

On compare l'activité respiratoire de quatre souches de levures : une souche sauvage « normale » et trois souches mutantes. Chacune de ces souches mutantes est obtenue par mutation de la souche sauvage, c'est-à-dire par modification de son information génétique. L'intensité de l'activité respiratoire de chaque souche est exprimée en consommation de dioxygène par rapport à la souche sauvage : la valeur 100 % correspond à la consommation des levures de souche sauvage. On étudie parallèlement la structure et le fonctionnement des mitochondries, organites impliqués dans la respiration cellulaire.

Souches de levures	Consommation de dioxygène par les levures	Mitochondries	
		Structure	Activité respiratoire
Sauvage	100 %	Normale	Normale
rho ⁰	0 %	Anormale	Nulle
S152P	10 %	Normale	Diminuée
Y279C	30 %	Normale	Diminuée

b. Activités respiratoires de diverses souches de levures.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- 3. •** Écrire l'équation en précisant les différentes substances consommées et produites par les levures ainsi que les transferts d'énergie associés. • Ajuster l'équation : pour chaque élément chimique, le nombre d'atomes consommés doit être égal au nombre d'atomes produits.

EXPLOITATION

- 1. Justifier** l'intérêt de l'expérience 2 (doc. 1 et 2).
- 2. Indiquer** les substances consommées et produites par les levures au cours de la respiration (doc. 2 et 3).
- 3. Présenter**, sous la forme d'une équation, le bilan chimique de la respiration à l'échelle cellulaire (doc. 2 et 3).
- Les mitochondries étant le siège de la respiration, **proposer** une explication à la différence de structure constatée entre les deux levures (doc. 4).
- 5. Comparer** la consommation de dioxygène des différentes souches de levures utilisées (doc. 5).
- En exploitant les données du document 5 :
 - **proposer** une explication aux particularités de l'activité respiratoire de la souche mutante rho⁰ ;
 - **montrer** que le métabolisme cellulaire est contrôlé par l'information génétique des cellules.

Influence de la nature du milieu sur le métabolisme des levures

Nous savons que, placées dans un milieu oxygéné, les levures réalisent un métabolisme respiratoire.



Comment la composition du milieu de vie des cellules influence-t-elle leur métabolisme ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer l'influence de facteurs du milieu sur le métabolisme des levures.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : concevoir un protocole expérimental.

A Influence de la nature des substrats sur la fermentation

En l'absence de dioxygène, les levures de type *Saccharomyces cerevisiae* utilisent un métabolisme de type fermentaire qui fournit à la cellule l'énergie dont elle a besoin. L'utilisation d'un substrat tel que le glucose est associée à la production de CO_2 et d'éthanol (alcool).



1 Mise en évidence de la fermentation alcoolique de levures.

a. Dispositif expérimental.

Suite à l'introduction du substrat dans la suspension de levures, on peut noter une élévation de température dans le flacon contenant la suspension de levures.

b. Caractérisation du gaz dégagé. On verse de l'eau de chaux dans un tube témoin (tube 1) et dans le tube ayant recueilli le gaz au cours de l'expérience (tube 2). On observe la formation d'un précipité dans le tube 2.

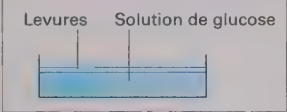
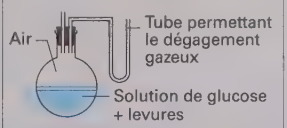
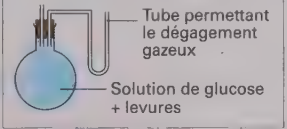
Nature du substrat	Glucose	Amidon	Lactose	Saccharose	Maltose	Sans substrat
Présence de levures	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Volume de CO_2 émis en une heure (en mL)	7,7	0	0	6,5	3,2	0

2 Influence de la nature des substrats présents dans le milieu sur la fermentation des levures.

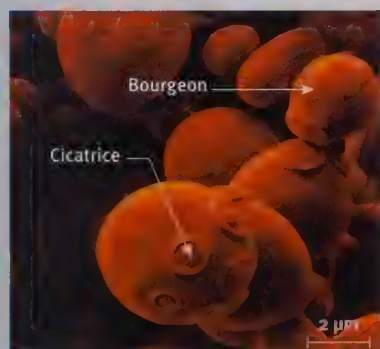
L'expérience est réalisée avec une souche de *Saccharomyces cerevisiae*.

B Teneur en dioxygène du milieu et type de métabolisme

Les levures peuvent utiliser simultanément deux types de métabolisme : respiration et fermentation. La respiration est un type de métabolisme qui, pour une même quantité de substrat utilisé, procure davantage d'énergie que la fermentation.

Conditions expérimentales	Quantité d'éthanol (alcool) produite par une même quantité de levures	Augmentation du nombre de levures par division cellulaire
Expérience 1 : milieu riche en dioxygène 	Traces	Très importante
Expérience 2 : milieu appauvri en dioxygène 	Faible	Moyenne
Expérience 3 : absence de dioxygène 	Importante	Faible

3 Influence de la teneur du milieu en dioxygène sur la quantité d'alcool produite et l'augmentation du nombre de levures.



4 Levures en bourgeonnement observées au microscope électronique à balayage.

Les levures peuvent se reproduire par bourgeonnement : un nouvel individu commence à se former, grandit et se sépare de la cellule mère en laissant une cicatrice visible sur la paroi. Une levure est capable de bourgeonner une trentaine de fois. Cette multiplication qui nécessite de la création de matière consomme de l'énergie.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

2. • Utiliser le montage présenté. • Réaliser un témoin. • Établir le lien entre la quantité de gaz dégagée et l'intensité du métabolisme réalisé.

4. • Exploiter les données relatives à la quantité d'éthanol produite et à la croissance de la population de levures. • Mettre en relation les documents 3, 4 et les informations concernant la quantité relative d'énergie produite par respiration et fermentation.

EXPLOITATION

1. **Exploiter** le document 1b pour **préciser** la nature du gaz dégagé. **Relever un argument** montrant que la fermentation s'accompagne d'un échange d'énergie avec le milieu (**doc. 1a**).
2. En utilisant un montage identique à celui présenté dans le document 1, **concevoir un protocole expérimental** permettant de vérifier que la nature des substrats tels que glucose, saccharose, maltose, lactose, amidon..., disponibles dans le milieu, influence l'intensité de la fermentation des levures.
3. **Déterminer** l'influence de la nature des substrats présents dans le milieu sur l'intensité de la fermentation des levures (**doc. 2**).
4. **Exploiter** les documents 3 et 4 pour montrer les effets de la teneur en dioxygène du milieu sur le type de métabolisme utilisé par les levures.

L'ADN, molécule universelle, support de l'information génétique

Nous savons que les chromosomes sont constitués d'ADN et qu'ils contiennent de nombreux gènes. Ces derniers sont porteurs d'une information génétique et déterminent les caractères héréditaires. Toutes les cellules contiennent de l'ADN.



La molécule d'ADN est-elle le support universel de l'information génétique ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer que l'ADN est le support moléculaire de l'information génétique et chercher des arguments en faveur de l'universalité de l'ADN.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Technique de la transgénèse

1 Principe de la transgénèse.

La transgénèse est une technique qui consiste à transférer un gène d'un organisme donneur à un organisme receveur.

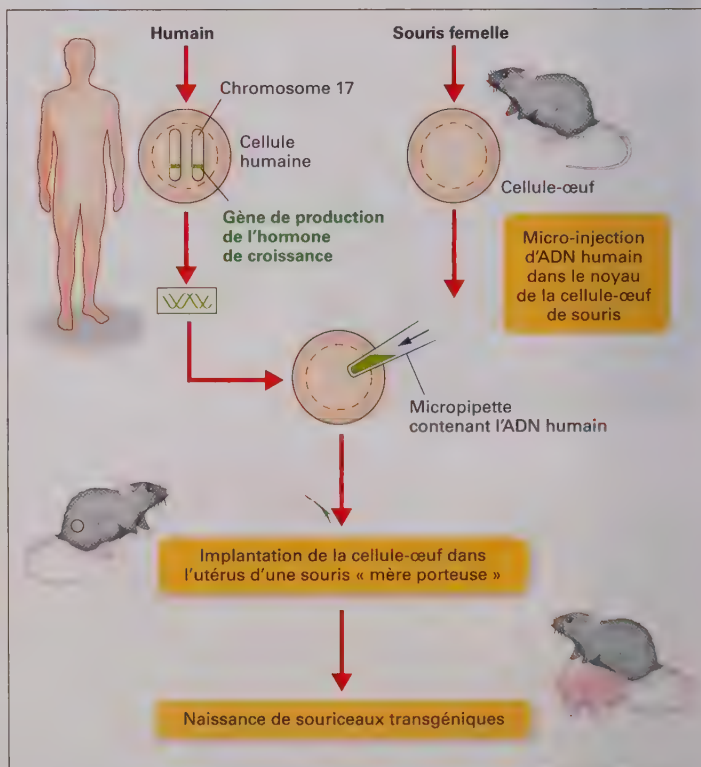
On appelle organisme génétiquement modifié (OGM), ou organisme transgénique, un être vivant ayant intégré dans son génome un gène étranger et l'exprimant.

2 Un exemple de transgénèse par micro-injection.

Dans une cellule humaine, on isole le gène qui dirige la synthèse d'hormone de croissance grâce à l'utilisation d'enzymes qui coupent spécifiquement l'ADN. Une micro-injection permet de transférer ce gène dans une cellule-œuf de souris. Il pourra alors s'insérer dans l'ADN de la cellule-œuf de souris. Cette cellule-œuf poursuivra son développement dans l'utérus d'une souris « mère porteuse ».

a. Production de l'hormone de croissance chez l'Homme.

Chez l'Homme, l'hormone de croissance est une molécule produite par une petite glande située à la base du cerveau : l'hypophyse. Cette hormone stimule la croissance. Le gène qui code l'hormone de croissance est localisé sur le chromosome 17.



b. Étapes de réalisation de la transgénèse par micro-injection.

B Résultat de la transgénèse

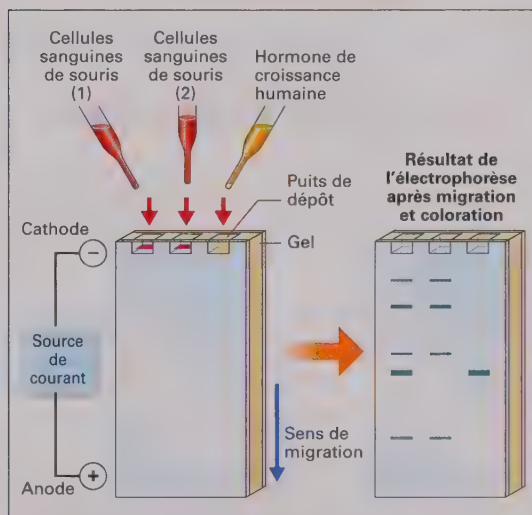


3 Souris transgénique (1) et souris non transgénique (2).

4 Recherche de l'hormone de croissance grâce à l'électrophorèse.

a. Technique de l'électrophorèse.

L'électrophorèse est une technique qui permet de séparer des molécules en fonction de divers critères, notamment de leur taille. Après dépôt d'une solution de l'échantillon à tester sur un support approprié, on la soumet à un champ électrique. Les divers composants de la solution vont migrer plus ou moins loin et seront ainsi séparés. Suit une coloration permettant de révéler des bandes qui correspondent aux différentes molécules présentes dans l'échantillon testé.



b. Résultats d'une électrophorèse réalisée à partir du sang de la souris transgénique (1), de la souris non transgénique (2) et d'hormone de croissance humaine.

EXPLOITATION

1. À partir du document 2b, **déterminer** pour cet exemple de transgénèse quel est l'organisme donneur et quel est l'organisme receveur.
2. **Comparer** les souris du document 3. **Formuler une hypothèse** expliquant les résultats obtenus.
3. À partir du document 4, **déterminer** combien de types de molécules sont révélées par l'électrophorèse dans le sang des

souris (1) et (2). **Expliquer** la différence de résultats pour les souris (1) et (2).

4. **Expliquer** comment cette expérience de transgénèse met en évidence que l'ADN est la molécule support de l'information génétique.

5. **Préciser et justifier** la propriété de l'ADN mise en évidence par le fait que la souris exprime le gène humain.

La structure moléculaire de l'ADN

Nous savons que l'ADN est la molécule universelle porteuse de l'information génétique.



Quelle est la structure de la molécule d'ADN qui lui permet de jouer son rôle informatif ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : rechercher comment l'information est supportée dans la molécule d'ADN.
- **Capacités** : utiliser les technologies de l'information et de la communication (*Rastop*) ; modéliser.

Visualisation de la molécule d'ADN avec le logiciel *Rastop*

Protocole : utilisation du logiciel *Rastop*

Principe du logiciel

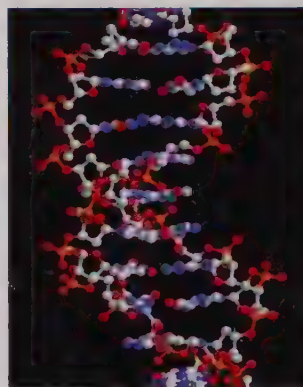
Il s'agit d'un logiciel de visualisation de molécules permettant d'étudier la structure des molécules dans l'espace ainsi que certains de leurs constituants. Ce logiciel permet de travailler sur différents fragments d'ADN.

Utilisation du logiciel

- **Ouvrir un fichier** : cliquer sur « Ouvrir », puis successivement sur « data », « adn » et ouvrir le fichier demandé. Une fenêtre contenant une représentation d'un fragment de molécule d'ADN apparaît.
- **Rotation de la molécule** : cliquer avec le bouton de gauche de la souris en glissant simultanément sur la molécule.
- **Modification de la taille de la molécule** : appuyer sur « Majuscule » (shift) en faisant glisser simultanément la souris vers l'avant ou l'arrière tout en maintenant appuyé le bouton gauche de la souris.

Visualisation de la molécule

- Pour observer la structure en chaînes de l'ADN : cliquer sur « Atomes », « Colorer par », puis « Chaîne ».
- Pour observer les différents nucléotides de l'ADN :
 - cliquer sur l'onglet « Expression » (doc. 3). Une fenêtre « Sélection d'atomes » apparaît ; indiquer l'initiale du nucléotide à visualiser (A, C, G ou T) ;
 - cliquer sur l'onglet « Palettes » (doc. 3). Sélectionner les couleurs suivantes : bleu pour A, jaune pour C, rouge pour G et vert pour T. Valider après chaque sélection.



1 Représentation d'un fragment de la molécule d'ADN avec le logiciel *Rastop*.

2 Structure et constituants de la molécule d'ADN.

La molécule d'ADN est formée de deux chaînes constituant une double hélice.

Chaque chaîne est formée d'une suite de nucléotides.

Il existe quatre nucléotides différents : nucléotides à adénine (A), à cytosine (C), à guanine (G) et à thymine (T). Ces nucléotides sont associés par paires complémentaires : A et T, C et G. Les deux chaînes sont reliées entre elles par des liaisons qui unissent spécifiquement les nucléotides des deux chaînes.



3 Barre d'outils dans le logiciel *Rastop*.

Matériel nécessaire pour la réalisation de la maquette

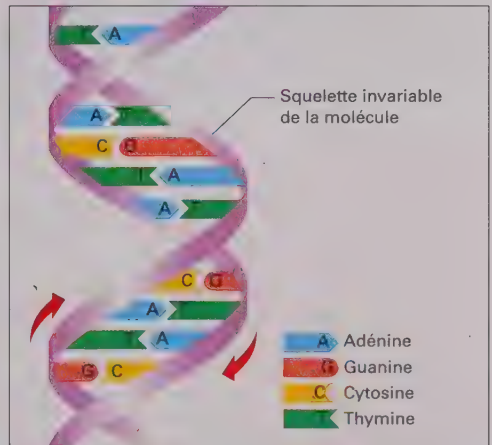
- Carton ondulé (10 cm x 10 cm) pour le socle de la maquette.
- Carton ondulé (10 cm x 20 cm) à découper en 10 bandes de 2 cm de large et 10 cm de long. Elles représenteront les 10 paires de nucléotides.
- Brochette en bois pour l'ossature de la maquette sur laquelle seront enfilées les paires de nucléotides.
- Bouchon en liège permettant de fixer la maquette sur son socle.
- Une punaise permettant la fixation du bouchon sur le socle.
- Deux bandes de papier de 1 cm de large et 45 cm de long représentant le squelette invariable de la molécule.
- Vingt épingles de couturière pour fixer ces bandes sur les nucléotides.

Étapes de réalisation

- Fixer le bouchon au centre du socle à l'aide de la punaise.
- Planter la brochette en bois dans le bouchon, le plus verticalement possible.
- Préparer les 10 bandes de carton représentant les 10 paires de nucléotides.
- Colorer chaque bande de carton afin d'indiquer le nom des nucléotides représentés en respectant les couleurs imposées par le logiciel *Rastop*.
- Enfiler les 10 paires de nucléotides sur la brochette servant d'axe à la maquette ; respecter la succession des nucléotides visible à l'écran.
- À l'aide des épingles, fixer les bandes de papier qui représentent le squelette invariable de la molécule.



4 Réalisation de la maquette.



5 Schéma de la molécule d'ADN.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

2. • Réaliser une maquette qui comporte 10 paires de nucléotides. • Respecter la complémentarité des nucléotides. • Respecter la succession des nucléotides visible à l'écran. • Respecter le code couleur utilisé avec le logiciel *Rastop*. • Obtenir une forme hélicoïdale, accompagnée d'un titre et de légendes. • Réaliser la maquette avec soin et propreté.

EXPLOITATION

1. À l'aide du logiciel *Rastop*, mettre en évidence sur les différents fragments d'ADN étudiés :
 - la structure en deux chaînes de la molécule d'ADN,
 - l'existence de 4 nucléotides différents constitutifs des chaînes de la molécule d'ADN (les 4 nucléotides sont symbolisés par 4 lettres : A, C, G et T),
 - l'existence d'une spécificité dans les paires de nucléotides (positionnés en vis-à-vis), A et T d'une part, C et G d'autre part (**doc. 1 et 2**).
2. Réaliser une maquette d'un fragment de la molécule d'ADN visualisée à l'écran.
3. Comparer les maquettes des fragments d'ADN réalisées par tous les élèves et indiquer les éléments qui varient entre les molécules représentées.
4. Formuler une hypothèse sur ce qui constitue un message dans l'ADN.

Nature du message porté par l'ADN

Nous savons que l'ADN est la molécule support de l'information génétique. Elle est constituée par l'assemblage de deux chaînes de nucléotides dont l'ordre varie selon les fragments d'ADN. Un gène peut exister sous des versions différentes appelées allèles.



Comment distinguer des séquences appartenant à deux allèles d'un même gène ? Comment vérifier que la séquence des nucléotides de l'ADN constitue un message ?

OBJECTIFS

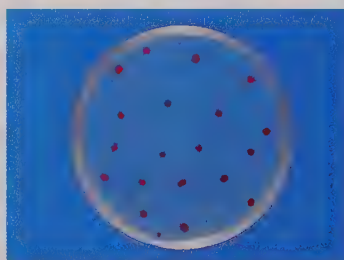
- **Connaissances** : identifier les différences moléculaires entre les allèles d'un même gène ; savoir que la séquence des nucléotides constitue un message codé.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.



Couleur, métabolisme et information génétique chez la levure



a. Colonies de levures blanches.



b. Colonies de levures rouges.

2 Origine génétique de la couleur des levures.

La couleur des levures est gouvernée par plusieurs gènes dont le gène *ade2* qui présente au moins trois allèles* : *ade2-a*, *ade2-b* et *ade2-c*. Chacun est présent chez 3 souches de levures qui diffèrent par leur couleur : blanche pour celle qui comporte l'allèle sauvage *ade2-a*, et rouge pour celles contenant les allèles mutés *ade2-b* et *ade2-c*.

1 Des levures appartenant à la même espèce, mais de couleur différente.

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est un organisme unicellulaire dont on connaît certains individus de couleur blanche et d'autres de couleur rouge. Lorsque ces différentes cellules se multiplient abondamment, elles forment alors des colonies visibles à l'œil nu, appelées clones, car constituées de cellules identiques génétiquement.

Allèles	Position des nucléotides	1	10	100	110	660	670	1 716
<i>ade2-a</i>	ATGGATTCTA		GCTGAAAATTC		CTTATGTTATG		TAA	
<i>ade2-b</i>	ATGGATTCTA		GCTTAAAATTC		CTTATGTTATG		TAA	
<i>ade2-c</i>	ATGGATTCTA		GCTGAAAATTC		CTGATGTTATG		TAA	

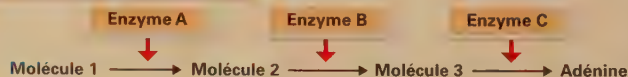
3 Fragments des séquences de nucléotides de trois allèles du gène *ade2*.

Chacun de ces trois allèles est constitué de 1 716 nucléotides, dont on a pu déterminer la séquence*. Les fragments non présentés sont communs aux trois allèles. Les séquences présentées correspondent à une seule des deux chaînes de la molécule d'ADN portant ces allèles.

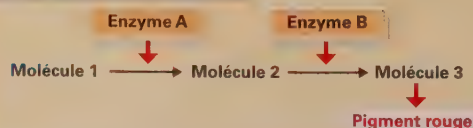
4 Origine génétique et métabolique de la couleur des levures.

La couleur des levures est régie par une suite de réactions chimiques catalysées par des enzymes notées A, B et C. Dans les levures sauvages, cet ensemble de réactions est complet. Il aboutit à la synthèse d'adénine et la couleur des levures est blanche. Chez les levures mutées, les allèles *ade2-b* et *ade2-c* codent la synthèse de 2 enzymes non fonctionnelles. En l'absence d'enzyme C la chaîne de réactions est incomplète. La molécule 3 s'accumule et devient rouge au contact de l'air. Les levures sont de couleur rouge.

En présence d'enzyme C

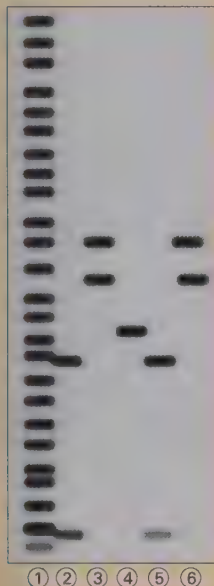


En absence d'enzyme C





On estime que, dans chaque cellule humaine, l'ensemble de l'ADN est constitué d'environ 3 milliards de paires de nucléotides. Ces derniers sont organisés sous la forme d'une séquence qui est unique pour chaque individu, à l'exception des vrais jumeaux dont les séquences sont identiques. La technique des empreintes génétiques permet de comparer l'ADN de différents individus.



- 1 : Étalonnage
- 2 : Victime
- 3 : Suspect X
- 4 : Suspect Y
- 5 : Tache de sang
- 6 : Sperme

5 Empreintes génétiques établies afin d'identifier des individus dans des affaires criminelles.

Suite à un viol, la police scientifique réalise des empreintes génétiques à partir d'une tache de sang trouvée sur la scène du viol et du sperme recueilli sur la victime. Le sang, tout comme le sperme, contient des cellules nucléées. On compare ces empreintes à celles de différents individus.

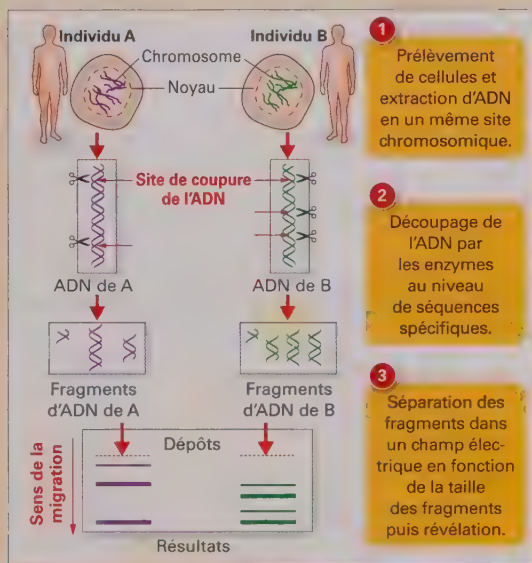
VOCABULAIRE

Allèle : une des versions d'un gène.

Séquence : suite ou enchaînement précis de molécules élémentaires.

6 Méthode de réalisation de l'empreinte génétique d'un individu.

1. Extraction de l'ADN des cellules.
2. Découpage de l'ADN en différents fragments grâce à des enzymes qui découpent l'ADN au niveau de séquences particulières et qui permettent donc d'obtenir des fragments d'ADN dont le nombre et la taille dépendent de la séquence d'ADN de l'individu.
3. Séparation des fragments obtenus grâce à leur migration dans un champ électrique au travers d'un gel : plus les fragments sont petits et plus ils migrent loin.
4. Révélation des différents fragments et obtention d'une image en « code-barre » ou empreinte génétique caractéristique de l'individu.



EXPLOITATION

1. Recopier la séquence des 10 premiers nucléotides de l'allèle ade2-a (doc. 3), puis **reconstituer** la séquence portée par l'autre chaîne de l'ADN en indiquant la démarche utilisée.

2. Indiquer ce qui permet de distinguer les différents allèles d'un même gène (doc. 3).

3. Montrer que la séquence de nucléotides représente, pour la cellule, un message qui détermine la couleur des levures (doc. 4).

4. Confirmer, avec l'exemple des levures, que le métabolisme cellulaire est contrôlé par l'information génétique (doc. 1 à 4).

5. Justifier l'utilisation de sang ou de sperme pour réaliser des empreintes génétiques (doc. 5 et 6).

6. Exploiter le document 5 pour **justifier** l'interpellation par la police du suspect X.

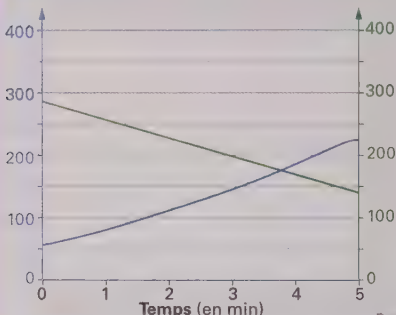
7. Indiquer comment cette technique révèle que les séquences d'ADN de l'individu Y sont différentes de celles de l'individu X (doc. 5 et 6).

1

Le métabolisme cellulaire

Concentration de dioxyde de carbone (en $\mu\text{mol/L CO}_2$)

Concentration de dioxygène (en $\mu\text{mol/L O}_2$)



1 Échanges gazeux réalisés par des levures dans un milieu contenant du glucose et du dioxygène.

● Les cellules vivantes réalisent constamment une multitude de réactions chimiques dont l'ensemble constitue le **métabolisme cellulaire**. Au cours de ces réactions, elles réalisent des **échanges de matière et d'énergie** avec leur milieu. Il existe différents types de métabolisme cellulaire, tels que la **respiration** et la **fermentation**.

● Une levure, champignon unicellulaire, placée dans un milieu riche en dioxygène réalise un **métabolisme de type respiratoire** : elle prélève du dioxygène et du glucose. Cette molécule organique est alors transformée en une **énergie utilisable** pour la cellule. Au cours de ces réactions, des déchets comme le dioxyde de carbone (doc. 1) et de l'eau sont produits et évacués hors de la cellule (activité 1). Ces réactions s'accompagnent d'une **transformation d'énergie**, dont une partie est dissipée dans le milieu sous forme de **chaleur**.

● L'**énergie** issue des réactions métaboliques permet la réalisation des activités cellulaires comme la **synthèse de molécules** ou les **divisions cellulaires** (activité 2).

● Les **facteurs du milieu** contrôlent le métabolisme cellulaire. L'intensité du métabolisme fermentaire dépend de la nature du substrat utilisé. La présence ou l'absence de dioxygène dans le milieu oriente le métabolisme cellulaire vers la respiration ou la fermentation (activité 2).

● L'**information génétique** contenue dans une cellule contrôle également le métabolisme cellulaire (activité 5). Le métabolisme respiratoire d'une certaine souche mutée de levures est ainsi plus faible que celui de la souche sauvage placée dans les mêmes conditions (activité 1).

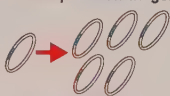
2

L'ADN, support universel de l'information génétique

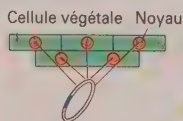
1. Choix d'un gène d'intérêt dans une cellule végétale



2. Intégration et multiplication du gène d'intérêt



3. Transfert du gène d'intérêt



4. Expression du gène d'intérêt dans l'organisme transgénique



2 Les étapes de la transgénèse végétale.

● L'information génétique d'une cellule est localisée dans les chromosomes au niveau de la molécule d'ADN.

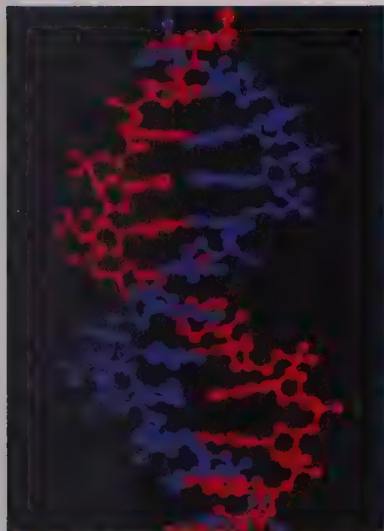
● La **transgénèse** consiste à transférer un fragment d'ADN contenant un gène d'une cellule d'un organisme donneur dans le génome d'un organisme receveur (doc. 2). Ce dernier peut alors acquérir un nouveau caractère : c'est un **organisme génétiquement modifié** (OGM) ou organisme transgénique.

● L'insertion d'un gène humain dirigeant la production d'hormone de croissance dans une cellule-œuf de souris permet d'obtenir des souris géantes : elles ont intégré et exprimé le gène humain, ce qui leur a permis de produire puis d'utiliser cette hormone de croissance humaine (activité 3).

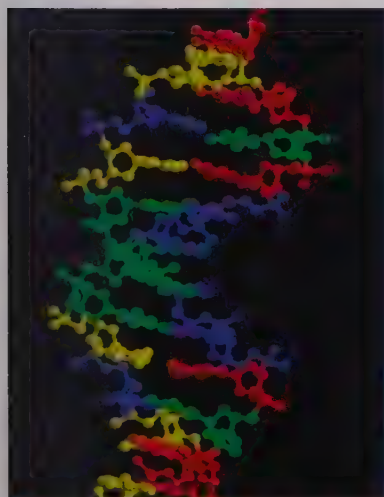
● La transgénèse prouve que la molécule d'ADN est le support de l'information génétique et que cette molécule est « lisible » par tous les êtres vivants. C'est donc le **support universel de l'information génétique**. La présence d'un même support d'information génétique chez tous les êtres vivants témoigne de leur parenté.

● Il existe de nombreuses applications de la transgénèse dans les domaines médicaux ou agroalimentaires, mais l'utilisation d'OGM suscite de nombreuses polémiques et est soumise à une réglementation stricte. ➡ (Questions de sciences p. 92)

Structure de l'ADN et information génétique



3 Les deux chaînes de la molécule d'ADN.
L'ADN est une molécule en double hélice.



4 Complémentarité des nucléotides
dans la molécule d'ADN.

● Nucléotide à adénine ● Nucléotide à thymine
● Nucléotide à cytosine ● Nucléotide à guanine

● L'ADN est une macromolécule possédant une organisation spatiale caractéristique : elle est constituée de deux chaînes (**doc. 3**) qui s'enroulent l'une autour de l'autre pour former une double hélice (**activité 4**).

⇒ (**Questions de sciences p. 91**)

● Chaque chaîne est constituée par l'assemblage d'unités élémentaires appelées nucléotides. Il existe quatre sortes de **nucléotides** : à **adénine** (A), à **guanine** (G), à **cytosine** (C) et à **thymine** (T) (**activité 4**).

● Les deux chaînes sont reliées par des liaisons établies entre nucléotides **complémentaires** : A est toujours apparié avec T, alors que G est toujours apparié avec C. On dit que les deux chaînes sont complémentaires. Ceci implique qu'il y ait autant de A que de T et autant de G que de C dans toute molécule d'ADN.

● Dans l'ADN, c'est la **séquence des nucléotides**, c'est-à-dire leur succession le long d'une chaîne qui varie et qui donc constitue un **message codé** : le changement d'un seul nucléotide suffit à changer l'information génétique. Cette modification est appelée **mutation** (**activité 5**).

● Au sein d'une espèce, les individus ont en commun les gènes caractéristiques de l'espèce (soit 20 000 à 25 000 gènes dans l'espèce humaine selon le dernier programme de séquençage du génome), mais ils se distinguent par des **allèles** ou versions différentes de ces gènes, qui ont des séquences nucléotidiques différentes. La séquence des nucléotides de l'ADN de chaque individu est unique (à l'exception des vrais jumeaux). On peut donc identifier un individu grâce à son ADN (**activité 5**).

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Facteurs de l'organisation et du fonctionnement cellulaires

Le **métabolisme cellulaire** est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans une cellule.

Le métabolisme cellulaire s'accompagne d'**échanges de matière et d'énergie** entre la cellule et son milieu.

Le métabolisme est contrôlé par les **facteurs du milieu** et par le **patrimoine génétique** d'une cellule.

La **transgénèse** est une technique de transfert d'ADN entre un organisme donneur et un organisme receveur.

La transgénèse permet de montrer que l'ADN est le **support universel de l'information génétique** et que cette molécule est utilisée par tous les êtres vivants.

L'universalité de l'ADN est un **indice de la parenté** des êtres vivants.

L'ADN est une molécule en double hélice constituée de **deux chaînes complémentaires de nucléotides**.

Des **mutations** sont à l'origine de la diversité des séquences de nucléotides, donc de la variabilité de la molécule d'ADN.

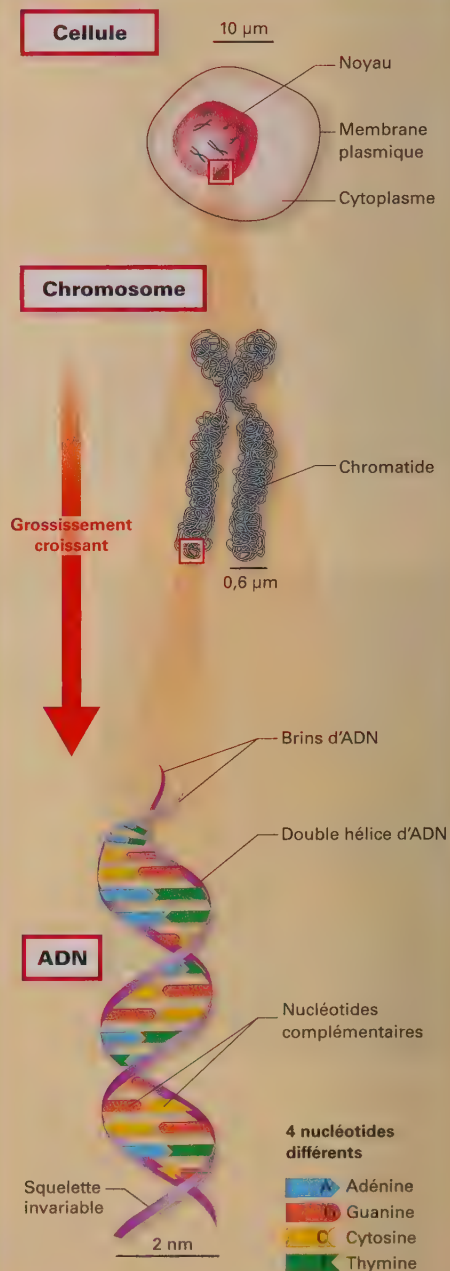
La **séquence des nucléotides** constitue un **message** ou information génétique.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

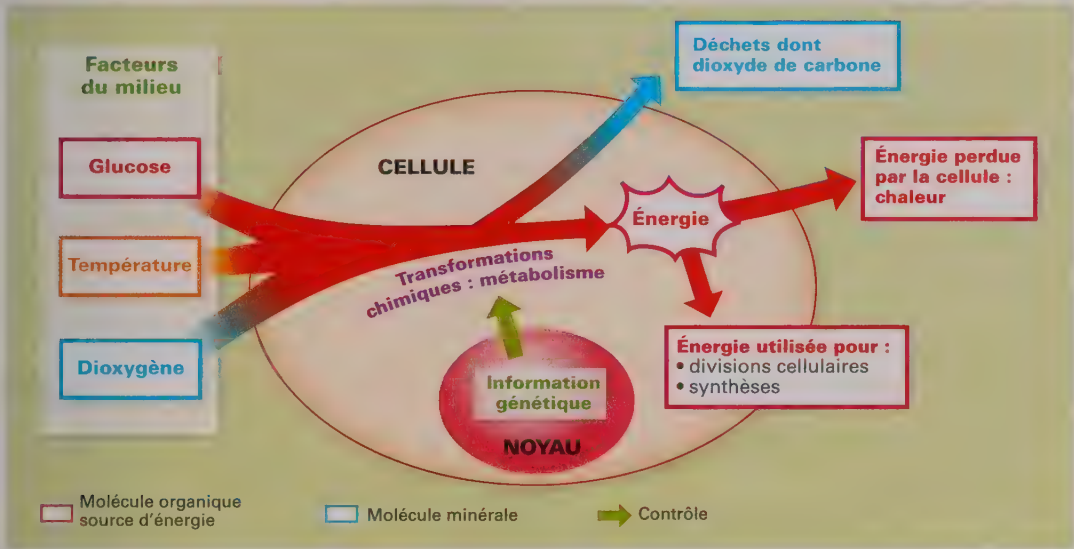
- Manipuler et expérimenter.
- Pratiquer une démarche scientifique : concevoir un protocole expérimental ; raisonner ; modéliser.
- Recenser, extraire et organiser des informations.

- Utiliser les technologies de l'information et de la communication.
- Montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques.

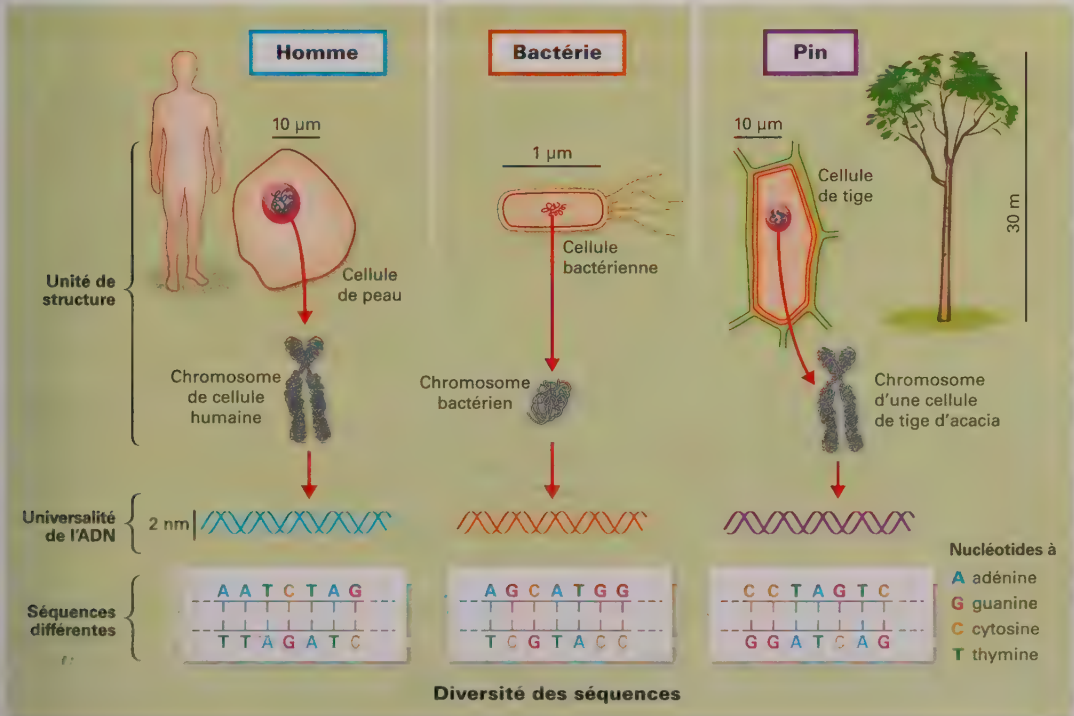
■ Du noyau à l'ADN



■ Un exemple de métabolisme cellulaire : la respiration



■ Universalité et variabilité de la molécule d'ADN



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** L'ADN est une molécule :
 1. composée de deux chaînes identiques.
 2. informative.
 3. constituée de deux chaînes complémentaires.
- b.** Les allèles d'un gène :
 1. ont des séquences différentes de nucléotides.
 2. peuvent avoir des tailles identiques.
 3. sont différents pour chaque individu.
- c.** Le métabolisme cellulaire :
 1. correspond à l'ensemble des réactions chimiques qui ont lieu à l'intérieur de la cellule.
 2. peut s'accompagner d'une perte d'énergie sous forme de chaleur.
 3. ne dépend que de l'information génétique.
- d.** Dans une molécule d'ADN, il y a :
 1. quatre types de nucléotides en quantités égales.
 2. autant de A que de T et autant de C que de G.
 3. autant de G que de A et autant de C que de T.
 4. un rapport « nombre de A » sur « nombre de T » égal au rapport « nombre de G » sur « nombre de C ».

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Le métabolisme cellulaire s'accompagne uniquement d'un échange de matière avec le milieu.
- b.** Un gène est un fragment d'ADN.
- c.** La transgénèse consiste, par exemple, à introduire le gène humain de l'insuline humaine dans le génome d'une bactérie.
- d.** La transgénèse n'est possible qu'entre organismes de même espèce.
- e.** La transgénèse est un argument en faveur de l'universalité de l'ADN comme support de l'information génétique.
- g.** La molécule d'ADN présente une organisation en double hélice chez tous les êtres vivants.

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Allèle
- b.** Métabolisme
- c.** Transgénèse
- d.** Organisme génétiquement modifié

4 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Dans l'ADN, A est complémentaire de T.
- b.** L'ADN est constitué de quatre types de nucléotides.
- c.** Deux allèles d'un même gène diffèrent par leur séquence de nucléotides.
- d.** Une mutation peut modifier le métabolisme d'une cellule.
- e.** Le métabolisme respiratoire se traduit par la consommation simultanée de molécules organiques, comme le glucose et de CO_2 .

5 Restitution organisée de connaissances

EXERCICE CORRIGÉ

Répondre aux questions suivantes.

- a.** Expliquer comment la structure de la molécule d'ADN constitue une information codée.
- b.** Présenter la technique de la transgénèse et son objectif.
- c.** Définir le métabolisme à l'échelle cellulaire et présenter un facteur qui influence ce métabolisme cellulaire.
- d.** Présenter un exemple montrant que les facteurs du milieu contrôlent le métabolisme.

6 Construction d'une phrase

EXERCICE CORRIGÉ

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

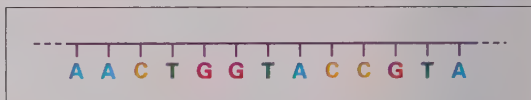
- a.** ADN, molécule universelle, êtres vivants.
- b.** Gène, allèles, séquences de nucléotides.
- c.** Mutation, métabolisme, information génétique.
- d.** Transgénèse, gène, transfert, espèce.
- e.** Métabolisme, réactions chimiques, cellule

7 Analyser un fragment d'ADN

EXERCICE CORRIGÉ



Analyser le brin d'ADN qui possède la séquence suivante.

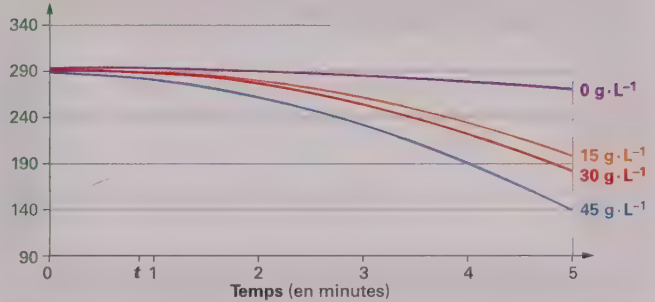


- a.** Combien de nucléotides peut-on compter ?
- b.** Reconstituer le brin complémentaire d'ADN pour obtenir la molécule complète.

Analyser des documents

8 Métabolisme des levures Pratique un raisonnement scientifique

On dispose d'une souche de levures cultivée dans un milieu riche en dioxygène. À l'aide d'un dispositif d'expérimentation assistée par ordinateur, on enregistre l'évolution de la teneur en dioxygène du milieu. Au temps t , on injecte 1 mL de solution de glucose à $15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. On répète l'enregistrement avec des solutions de glucose présentant des concentrations de $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $45 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. On réalise aussi un enregistrement au cours duquel on n'injecte pas de glucose. La pente de la courbe avant l'injection du glucose s'explique par le fait que la sonde utilise du dioxygène pour effectuer les mesures.

Concentration en dioxygène (en $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

Évolution de la teneur en dioxygène du milieu de culture des levures pour différentes concentrations de glucose.

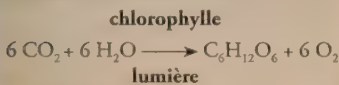
Exploiter le document pour montrer que la teneur du milieu en glucose influence le métabolisme respiratoire des levures.

9 Métabolisme de cellules chlorophylliennes Pratique un raisonnement scientifique

1 Métabolisme photosynthétique

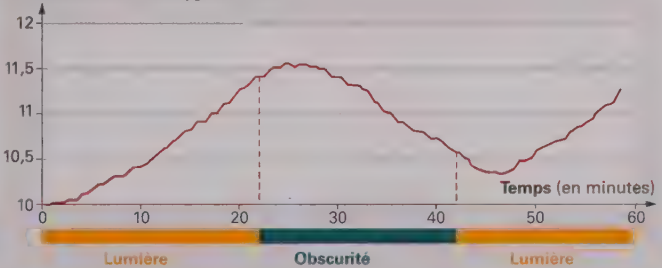
Les élodées sont des végétaux chlorophylliens qui présentent un métabolisme de type photosynthétique. Ce type de métabolisme permet la fabrication de matière organique à partir de matière minérale en présence de lumière. Cette synthèse de matière organique s'accompagne d'un dégagement de dioxygène.

Équation de la photosynthèse :



On dispose des feuilles d'élodées dans l'enceinte remplie d'eau d'un dispositif d'expérimentation assistée par ordinateur. Une sonde placée dans l'enceinte mesure la teneur de l'eau en dioxygène. Au cours de l'expérience, on place successivement les élodées à la lumière et à l'obscurité. Le graphe présente les résultats obtenus à l'issue de l'expérience.

Concentration en dioxygène (en %)



2 Influence de la lumière sur le dégagement de dioxygène par les plantes chlorophylliennes.

- Indiquer le paramètre que l'expérimentateur fait varier au cours de l'expérience.
- Établir un lien entre l'évolution de la quantité de dioxygène mesurée dans l'enceinte et l'activité photosynthétique.
- Analyser les résultats obtenus quand l'élodée est éclairée.

- Formuler une hypothèse expliquant les résultats obtenus à l'obscurité.
- Sachant que la respiration de l'élodée est permanente, proposer une explication aux résultats observés à la lumière.

10 L'intérêt d'un organisme génétiquement modifié, le maïs transgénique

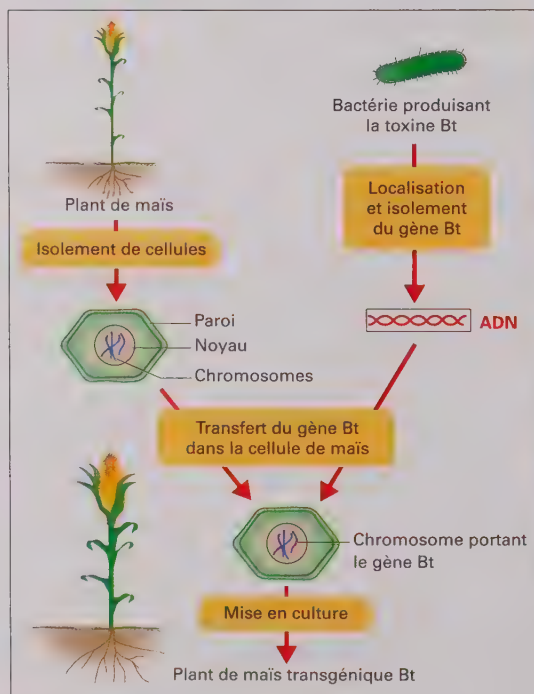
Pratiquer un raisonnement scientifique

1 Effets de la pyrale sur le maïs

La pyrale du maïs est un insecte dont la larve s'attaque au maïs et consomme les tiges, les feuilles, mais les dégâts les plus importants du point de vue économique sont liés à l'infestation des épis de maïs qui deviennent impropres à la vente. Cet insecte est responsable de dégâts considérables : environ 20 % des surfaces cultivées sont atteintes par ce ravageur. L'utilisation d'insecticides comporte divers inconvénients dont l'atteinte d'autres insectes non nuisibles, la faible efficacité du traitement contre les larves qui se développent à l'intérieur des épis et le surcroît de travail pour l'agriculteur.



Tige de maïs infestée par la larve de la pyrale.



2 Production de maïs transgénique

Une bactérie appelée *Bacillus thuringiensis* produit une substance chimique, appelée Bt, toxique pour la larve de pyrale, mais inoffensive pour l'Homme. On sait isoler le gène qui code la synthèse de la toxine Bt et l'intégrer dans le génome du maïs.



3 Caractéristiques des maïs non transgénique et transgénique

- Cet épi de maïs a été obtenu sur un plant normal non transgénique, infesté par la chenille de la pyrale. Les chenilles s'y développent et se transforment en chrysalide, puis en adulte capable de se reproduire.
- Cet épi de maïs provient d'un plant transgénique. Les chenilles ayant consommé les épis issus de plants de maïs transgéniques présentent une paralysie du système digestif, cessent de s'alimenter et meurent rapidement.

■ À partir de l'analyse et de la mise en relation des documents 1, 2 et 3, justifier l'intérêt pour l'agriculteur de produire du maïs transgénique.

11 La commercialisation du maïs MON 810 bloquée

Communiquer des idées et des données scientifiques

« La mise en culture, en vue de la mise sur le marché des variétés de semences de maïs issues de la lignée de maïs génétiquement modifié MON 810 [...] est interdite sur le territoire national. » *Parution au Journal Officiel d'un arrêté du ministère de l'Agriculture (février 2008)*. Cette clause de sauvegarde, engagée par le Gouvernement à l'égard du maïs transgénique OGM MON 810, fait suite à l'avis de la Haute Autorité sur les OGM.

Qu'est-ce que la Clause de sauvegarde ? Prévue dans une directive européenne de 2001, ce mécanisme permet à un gouvernement d'invoquer un risque pour la santé et l'environnement afin d'interdire à ses agriculteurs de cultiver un organisme génétiquement modifié ou aux distributeurs de le vendre. Pour pouvoir l'invoquer, un pays doit présenter un dossier et mettre en avant des risques nouveaux. À ce jour, six pays européens ont choisi de l'activer.

- Indiquer les arguments du texte qui justifient la décision de suspendre la commercialisation du maïs MON 810.
- Expliquer le risque provoqué par la dissémination à longue distance du pollen.

Résumé de l'avis de la Haute Autorité sur les OGM

- Trois risques nouveaux sont considérés :
 - dissémination à longue distance (dispersion du pollen jusqu'à 100 km avec un impact sur les populations des rivières alors que quand il a été autorisé, en 1998, les experts estimaient que son pollen ne pouvait se propager qu'à quelques mètres) ;
 - des résistances développées par des ravageurs ;
 - possibilité d'effets toxiques à long terme sur la faune (lombrics, isopodes, nématodes et monarques) et la flore (présence possible de la toxine Bt dans l'eau et le sol).
 - Un nouvel effet positif a été montré :
 - la réduction de production de mycotoxine (champignons microscopiques toxiques).
- De nombreuses interrogations sont soulevées et, étant donné le manque de données, le comité souhaite des analyses complémentaires.

Restituer ses connaissances de façon organisée

12 Structure et fonction de la molécule d'ADN

Communiquer des idées et des données scientifiques

EXERCICE CORRIGÉ

■ Après avoir présenté la structure de l'ADN, expliquer comment cette molécule est porteuse d'information.

Intégrer des schémas à l'exposé, notamment un schéma d'un fragment d'ADN constitué de 10 nucléotides.

AIDE MÉTHODOLOGIQUE

1. Pour bien comprendre le sujet

Souligner les mots importants du sujet (*ADN, structure, information*) et les définir au brouillon.

2. Établir les limites du sujet

Au brouillon, faire le tri dans ses connaissances, noter les points qui se rapportent au sujet, éliminer les autres (*les mutations sont hors sujet*).

3. Établir un plan au brouillon

Ce plan doit être constitué d'un petit nombre de parties (*deux à trois*). Ce plan apparaît souvent dans l'énoncé (*une première partie traiterait de la structure de l'ADN et une deuxième de l'information*).

4. Rédiger une introduction

- Définir les termes importants : *ADN, structure et information*.
- Présenter et éventuellement limiter le problème à résoudre.
- Présenter les grandes lignes du plan.

5. Rédiger le plan et son contenu en intégrant des schémas

- Dans chaque partie, organiser les idées à présenter dans un ordre logique : par exemple dans la première partie, indiquer que l'ADN est constitué de deux chaînes avant de préciser comment les deux chaînes sont reliées.
- À chaque étape, intégrer à l'exposé les arguments expérimentaux, les schémas et les exemples à évoquer.
- Pour les schémas : soigner leur présentation, indiquer un titre et des légendes.

6. Rédiger une conclusion

- Faire un bilan du devoir qui doit répondre au sujet posé.
- Terminer par une ouverture vers d'autres sujets.

Les forces à l'origine

➤ La biodiversité actuelle et passée résulte de l'existence de mécanismes permettant l'apparition de nouvelles espèces ou spéciation. Des changements environnementaux et des modifications de l'information génétique sont à l'origine de cette évolution.

Les mutations sont responsables de la diversité génétique au sein d'une espèce. Dérive génétique et sélection naturelle sont deux mécanismes à l'origine de la spéciation.



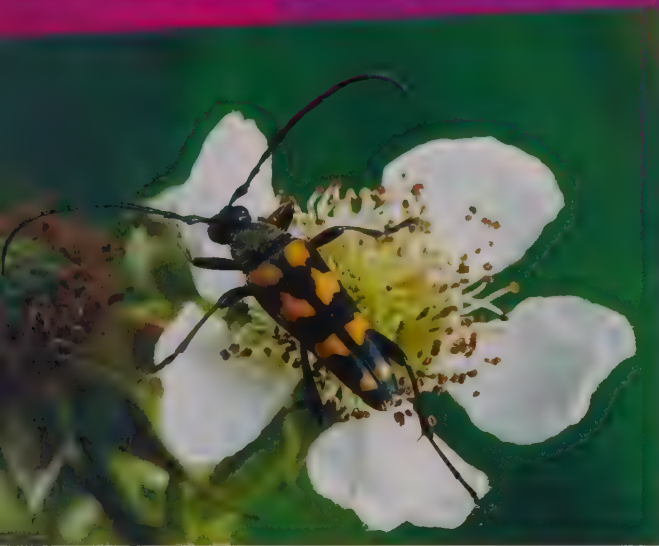
1

Papillons de l'espèce *Heliconius doris*.

Tous ces papillons mâles appartiennent à la même espèce. Leurs ailes montrent des motifs différents. Cette diversité morphologique au sein d'une espèce est le plus souvent le reflet d'une diversité génétique.

Quels mécanismes engendrent la diversité génétique ?

volutives le la biodiversité



2

La lepture tachtetii.

Ce coléoptère présente des couleurs entraînant la confusion avec un insecte plus dangereux : la guêpe. Cette caractéristique spécifique, absente chez l'ancêtre commun des coléoptères, fait qu'il est très rarement la proie des oiseaux ou autres entomophages.

Quels mécanismes expliquent la transformation des espèces ?



3

Fossile et reconstitution d'*Archaeopteryx*.

Les archéoptéryx sont des animaux aujourd'hui disparus, ayant vécu à la fin du Jurassique, il y a près de 150 millions d'années. D'une taille de quelques dizaines de centimètres, ils possèdent des dents mais aussi des plumes.

a. Fossile d'*Archaeopteryx*.

b. Reconstitution d'*Archaeopteryx*.

Comment peut-on expliquer l'apparition et la disparition d'espèces ?



Diversité génétique des populations

Nous savons qu'une espèce est caractérisée par une information génétique propre. Au sein d'une espèce, chaque individu est un être unique que l'on peut différencier de ses congénères par un certain nombre de caractères.



Quelles sont l'origine et l'ampleur de la diversité génétique au sein d'une population ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : expliquer la diversité génétique des populations.
- **Capacités** : utiliser les technologies de l'information et de la communication (*Anagène*) ; recenser, extraire et organiser des informations.

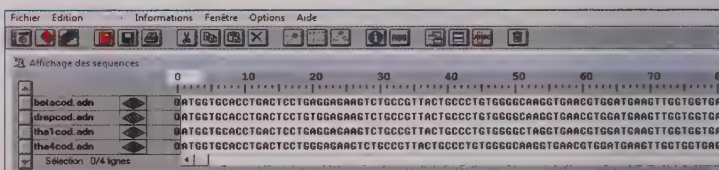


Une origine de la diversité génétique : les mutations

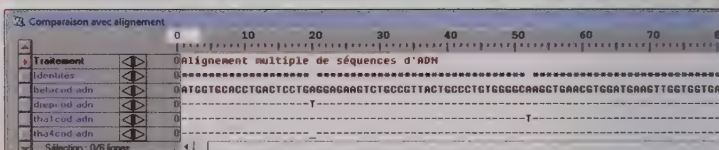


Protocole

1. À l'aide du logiciel *Anagène*, ouvrir les 4 séquences suivantes (elles ne sont représentées que par un seul brin) :
 - *betacod.adn*, individu sain ;
 - *drepcod.adn*, individu atteint par une pathologie : la drépanocytose ;
 - *tha1cod.adn* et *tha4cod.adn*, individus atteints par deux formes d'une pathologie : la thalassémie.
2. Sélectionner les séquences suivantes du gène de la bêta-globine :
 - individu normal ;
 - individu atteint de drépanocytose ;
 - individu atteint de thalassémie.
3. En utilisant les fonctionnalités du logiciel, effectuer une comparaison des séquences.



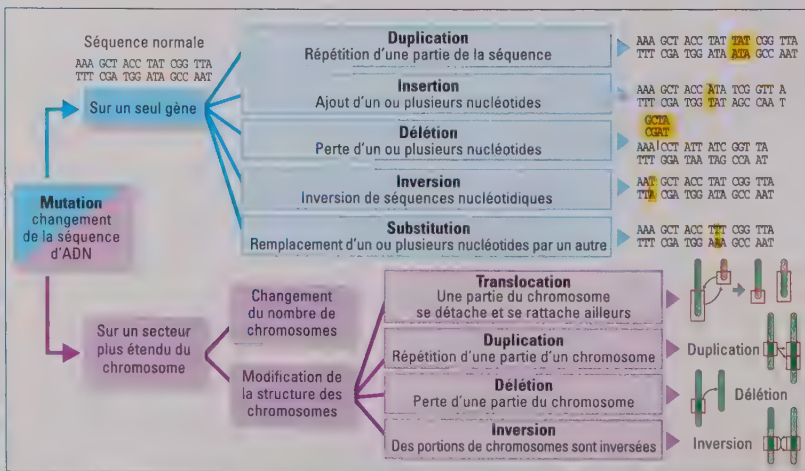
a.



b.

1 Analyse de séquences génétiques à l'aide du logiciel *Anagène*.

- a. Différentes séquences de nucléotides du gène codant la molécule de bêta-globine.
- b. Comparaison des séquences de nucléotides. Le symbole « - » signifie que les nucléotides sont identiques entre les séquences comparées. Si l'initiale d'un nucléotide est indiquée (ici, T pour la séquence *drepcod.adn*), cela signifie que ce nucléotide est différent du nucléotide de la séquence de référence (*betacod.adn*). Le symbole « _ » représente une délétion.



2 Différents types de mutations.

Les mutations changent la séquence des nucléotides de la molécule d'ADN.

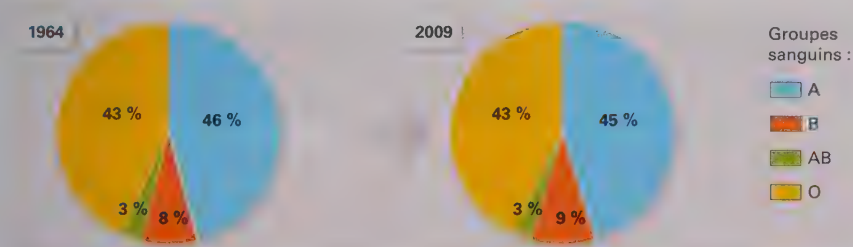
B

Fréquences alléliques au sein d'une espèce

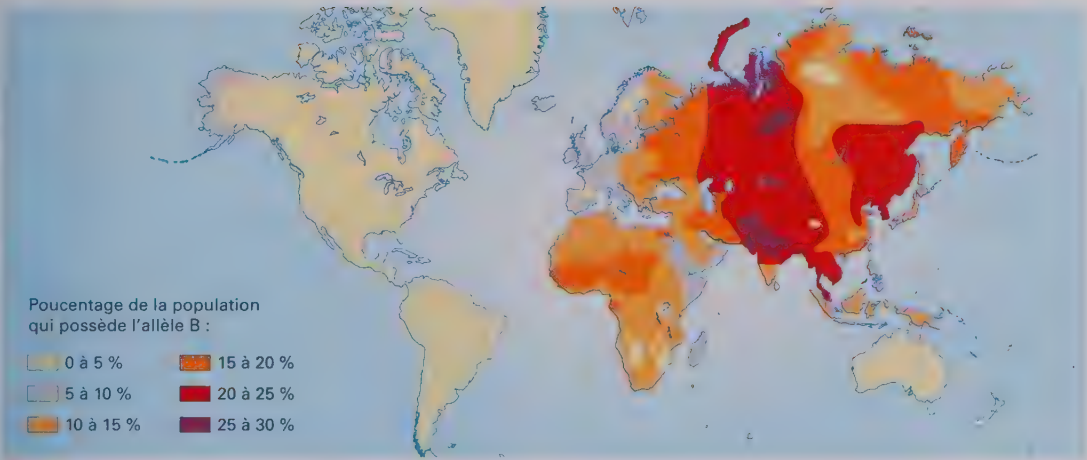
On trouve à la surface des globules rouges des antigènes, molécules capables d'être reconnues par le système immunitaire. Certains de ces antigènes déterminent les groupes sanguins du système ABO. Le tableau ci-contre consigne, pour chacun des groupes sanguins, la structure génétique (allèles possédés par l'individu) et la ou les molécule(s) antigénique(s) présente(s) sur la surface membranaire.

Groupe sanguin de l'individu	Allèles possédés par l'individu	Nature de la molécule de surface
A	A/A ou A/O	Glycolipide A
B	B/B ou B/O	Glycolipide B
AB	A/B	Glycolipides A et B
O	O/O	Pas de glycolipide

3 Les groupes sanguins A, B et O chez l'Homme.



4 Fréquence des groupes sanguins en France en 1964 et en 2009.



5 Répartition de l'allèle B dans le monde. Le pourcentage est mesuré au sein des populations* indigènes (populations locales).

VOCABULAIRE

Population : regroupement d'individus appartenant à la même espèce et susceptibles de se reproduire entre eux.

EXPLOITATION

1. Mettre en œuvre le protocole d'étude de la bêta-globine (doc. 1).
2. Réaliser une recherche Internet sur la fonction de la bêta-globine et sur les symptômes des pathologies de la drépanocytose et de la bêta-thalassémie (doc. 1).
3. Identifier à travers les pathologies proposées, les différents types de mutations existantes (doc. 1 et 2).
4. Expliquer l'origine des différents groupes sanguins (doc. 3).
5. Décrire l'évolution de la répartition des groupes sanguins en France (doc. 4).
6. Décrire la répartition de l'allèle B dans le monde (doc. 5).
7. Proposer des hypothèses pour expliquer les observations tirées des documents 4 et 5.

La dérive génétique

Nous savons qu'entre différentes populations d'une même espèce, on observe des fréquences différentes pour un même allèle.



Quel mécanisme permet d'expliquer les variations des fréquences ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre comment la dérive génétique modifie la fréquence d'un allèle dans une population.
- **Capacités** : utiliser les technologies de l'information et de la communication (tableur) ; modéliser.



Comprendre le principe de la dérive génétique



1 Le suivi de la couleur du pelage de souris sur cinq générations.

On considère une population très restreinte de souris. Chaque génération ne comporte que quatre individus notés de la façon suivante : un chiffre romain pour la génération et un chiffre arabe de 1 à 4. Par exemple, IV3 est un des quatre individus de la quatrième génération.

À chaque génération, on considère que les individus 1 et 3 sont des mâles et les individus 2 et 4 sont des femelles. L'individu II1 est issu du croisement I1 × I2 ; II2 est issu du croisement I2 × I3 ; II3 = I3 × I4 ; II4 = I4 × I1 ; on passe de la même façon à la génération III1 = III1 × II2, etc.

Protocole

1. Ouvrir le tableur et dresser le tableau proposé dans le document 2. La ligne 2 du tableur indique les allèles possédés par chacun des individus de la première génération.

2. Pour générer la ligne 4, on doit déterminer les allèles reçus de leurs parents par la génération II (exemple : en C4 on obtiendra la valeur de l'allèle reçu par II1 de son père I1, et en D4 la valeur de l'allèle reçu par II1 de sa mère I2). Cette valeur est dépendante de la couleur des parents.

Cas 1 : Si les parents sont beiges ou noirs, ils ne cèdent à leur descendance qu'un seul type d'allèle, respectivement 1 (parents beiges) et 0 (parents noirs).

Cas 2 : Si un parent est tacheté, il peut céder soit 1, soit 0, de manière aléatoire avec la même probabilité (0,5). Quel nombre mettre dans la cellule C4 ?

3. Cliquer sur la cellule à remplir (C4). Dans le menu Insertion, choisir Fonction. Sélectionner la fonction « SI ». Une fenêtre s'ouvre, la compléter comme suit :

Test_logique	C2+D2=1	= VRAI
Valeur_si_vrai	ALEA.ENTRE.BORNES(0;1)	= Volatile
Valeur_si_faux	(C2+D2)/2	= 0.5

Un choix au hasard est ainsi opéré, comme cela est réalisé lors de la reproduction sexuée. Procéder ainsi (cas 1 ou cas 2) pour toutes les autres cellules de cette ligne, et des lignes 6, 8 et 10. Cette fonction détermine automatiquement la situation des parents (cas 1 ou cas 2) et répartit les allèles.

À l'aide d'un tableur (doc. 2), on suit sur les cinq générations l'évolution de la fréquence des deux allèles 0 et 1, gouvernant la couleur du pelage des souris. En fonction des deux allèles possédés par chaque individu, on observe trois couleurs de pelage différentes : beige (1, 1), noire (0, 0), tachetée (1, 0). Au sein de la première génération (I), les individus I1 et I4 ont un pelage tacheté (1, 0), I2 un pelage beige (1, 1), I3 un pelage noir (0, 0).

2 Utilisation d'un tableur pour suivre le devenir des allèles.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Génération I	I1	I2	I3	I4					
2	Allèles	0	1	1	1	0	0	1	0	
3	Génération II	II1	II2	II3	II4					
4	Allèles									
5	Génération III	III1	III2	III3	III4					
6	Allèles									
7	Génération IV	IV1	IV2	IV3	IV4					
8	Allèles									
9	Génération V	V1	V2	V3	V4					
10	Allèles									

Modéliser l'évolution des fréquences alléliques des souris.

Génération	Fréquence de l'allèle 0	Fréquence de l'allèle 1
I	50 %	50 %
II	70 %	30 %
III	75 %	25 %
IV	100 %	0 %

3 Simulation réalisée par un groupe d'élèves.

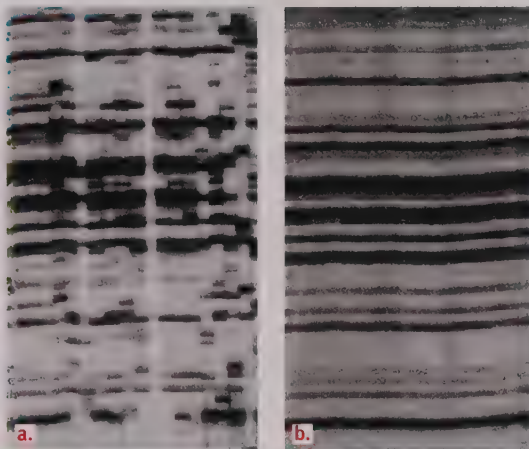
Sur les huit cellules de C2 à J2 (doc. 2), quatre comportent l'allèle 0 et quatre comportent l'allèle 1. La fréquence de chaque allèle est 50 %. Dans cette simulation, l'allèle 1 disparaît dès la 4^e génération ; toutes les souris sont alors noires.

B Observer la dérive génétique



4 Vigne marronne.

La vigne marronne (*Rubus alceifolius*) est une espèce de ronce du Sud asiatique. Auparavant absente de l'île de La Réunion, elle y fut introduite dans les années 1840-1850. Sa prolifération est telle qu'on la dénomme « peste végétale ». Cela s'explique par le fait que, sur cette île, cette plante n'a pas de consommateurs et qu'elle y trouve des conditions climatiques optimales.



5 Analyse génétique de la vigne marronne.

a. Plants issus du Vietnam. **b.** Plants issus de la Réunion.

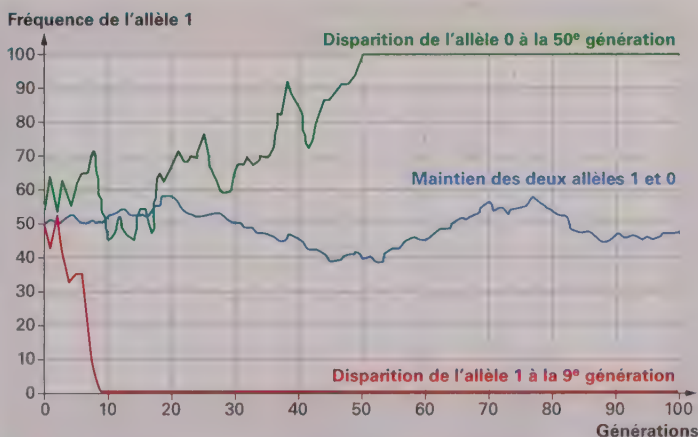
Dans cette analyse, chaque bande verticale correspond à un individu, les bandes horizontales représentent un fragment précis de la séquence d'ADN.

On observe une grande diversité dans les séquences entre les plants originaires du Vietnam contrairement à ceux de la Réunion dont les séquences sont similaires.

C Modéliser la dérive génétique

Protocole

1. Utiliser le logiciel « Évolution allélique » : <http://www.ac-nice.fr/svt/productions/fiche.php?numero=52>
2. Modifier les paramètres de façon à retrouver la situation proposée dans le document 2 sur les différentes générations de souris.
3. Réaliser 4 simulations et observer les résultats.
4. Multiplier par 2 la population initiale et réaliser 4 simulations sur 20 générations, puis observer les résultats.
5. Poursuivre les séries de simulation, en multipliant par un facteur 2, jusqu'à arriver à une population supérieure à 2 000 individus.



6 Dérive génétique et évolution des fréquences alléliques.

EXPLOITATION

1. Citer les allèles que doivent posséder les parents d'une souris tachetée (doc. 1).
2. Réaliser le protocole, proposé sur le tableur (doc. 1 et 2).
3. Proposer une hypothèse permettant d'expliquer la faible diversité génétique de la vigne marronne (doc. 4 et 5).
4. Réaliser le protocole proposé sur le logiciel de simulation (doc. 6).
5. Décrire les conséquences de l'effectif d'une population sur la diversité allélique (doc. 6).

La spéciation ou l'apparition de nouvelles espèces

Nous savons que la sélection naturelle et la dérive génétique modifient la fréquence des allèles au sein d'une population.



Comment la dérive génétique et la sélection naturelle permettent-elles la création de nouvelles espèces ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre comment la sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à la création d'une nouvelle espèce.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.



Sélection naturelle et diversité allélique

1 Populations de timémas.

a. Caractéristiques des timémas.

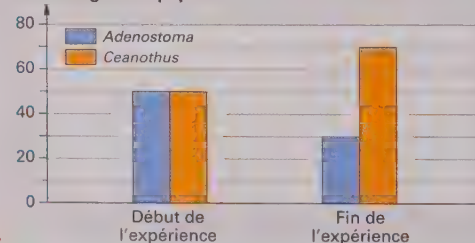
Les timémas sont des insectes sans ailes d'Amérique du Nord étroitement liés à des plantes-hôtes. Ils reposent sur les feuilles de leur hôte pendant la journée et se nourrissent des feuilles pendant la nuit. Sur les plantes-hôtes, les timémas sont exposés à la prédation par les oiseaux et les lézards. On observe que les populations de *Timema* présentent un mimétisme avec la plante les hébergeant. Ainsi, les populations vivant sur *Adenostoma* présentent une bande blanche amplifiant leur ressemblance avec les feuilles, alors que les populations vivant sur *Ceanothus* ne présentent pas cette particularité.



b. Population de Timémas vivant sur *Ceanothus*.

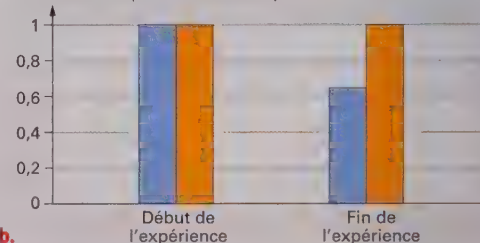
c. Population de Timémas vivant sur *Adenostoma*.

Pourcentage de la population



a.

Taux de survie (unités arbitraires)



b.

2 Divers protocoles portant sur des populations de *Timema* permettant d'observer différents types de mutations.

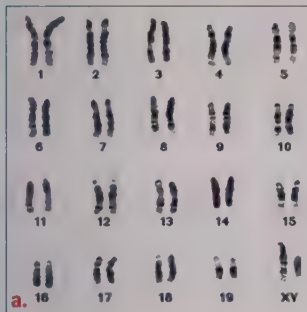
a. Évolution des populations au sein d'un enclos après introduction de prédateurs. Une population de *Timema* issue de *Ceanothus* est divisée en deux parties égales, puis replacée sur *Ceanothus* ou placée sur *Adenostoma* au sein d'enclos où sont introduits des prédateurs. On évalue en fin d'expérience la répartition des individus sur les hôtes.

b. Évolution des populations au sein d'un enclos les protégeant de prédateurs. La même expérience est reproduite, mais cette fois aucun prédateur n'est présent dans l'enclos. On évalue en fin d'expérience le taux de survie sur chacun des hôtes.

3 L'origine des souris de Madère.

Les souris de l'île de Madère (*Mus musculus*) ont été introduites avec les premiers bateaux provenant d'Europe. Une étude génétique a révélé une étroite ressemblance avec les souris du Portugal, ce qui paraissait logique, compte tenu du fait que l'île fut colonisée par les Portugais. Cependant, certaines parties de leur ADN présentent de fortes similitudes avec l'ADN de souris peuplant

la Scandinavie et l'Europe du Nord. Selon les biologistes, cette donnée est un indice fort démontrant que les bateaux vikings ont découvert Madère et débarqué sur l'île bien avant les Portugais. Plus étonnant encore, l'étude génétique de ces souris a révélé des particularités chromosomiques uniques pour les souris de l'île.



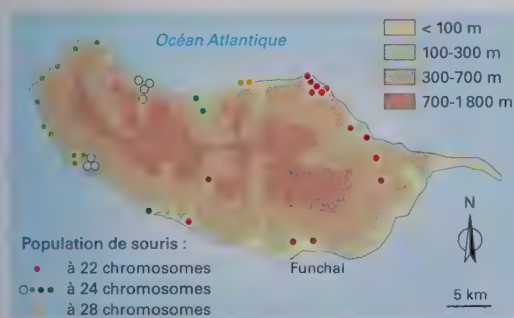
4 Caryotype de souris européennes et de souris de l'île de Madère.

On observe de nombreuses fusions* de chromosomes, ce qui entraîne une forte réduction du nombre de chromosomes ; ainsi certaines souris de l'île ne possèdent que 22 chromosomes contre 40 pour une souris européenne.

a. Caryotype de souris européenne.

b. Caryotype de souris de Madère à 22 chromosomes.

c. Caryotype de souris de Madère à 24 chromosomes.



5 Répartition sur l'île de Madère de souris présentant des caryotypes différents.

Pour les souris possédant 24 chromosomes, la diversité des remaniements chromosomiques conduit à les subdiviser en 4 ensembles.

6 Origine des espèces de souris présentes sur l'île de Madère.

Nous avons donc aujourd'hui, sur l'île de Madère, six espèces de souris apparues récemment et inconnues ailleurs. Elles sont séparées entre elles non seulement par des remaniements chromosomiques mais aussi par des montagnes. Cette île volcanique est en effet entrecoupée de profondes vallées isolées les unes des autres par des reliefs escarpés. Cette topologie a certainement contribué à isoler très tôt, dans les creux des vallons, les populations entre elles. Ce sont leurs effectifs réduits qui expliquent que, par dérive génétique, des variants chromosomiques aient pu rapidement y être stabilisés. En effet, il n'y a que dans les petites populations isolées que l'on puisse observer des spéciations aussi rapides. On a calculé que les six espèces se sont établies en 2 000 générations (si l'origine des souris est portugaise) ou bien 4 000 générations (si les souris proviennent d'Europe du Nord avec apport portugais ultérieur).

Guide critique de l'évolution, sous la direction de G. Lecointre, Belin.

EXPLOITATION

1. Expliquer en quoi le mimétisme confère un avantage (doc. 1).
2. Montrer que, dans le cas de l'espèce *Timema*, la survie dépend d'un second paramètre (doc. 2).
3. Expliquer pourquoi on peut considérer que les souris de Madère constituent des espèces à part entière (doc. 3 et 4).
4. Montrer comment la dérive génétique a contribué à l'apparition de ces nouvelles espèces (doc. 5 et 6).
5. Réaliser un schéma bilan présentant le scénario de la spéciation des souris de l'île de Madère (doc. 5 et 6).

VOCABULAIRE

Fusion de chromosomes : chacun des chromosomes de la paire notée 2-19, dans le caryotype de souris de l'île, résulte de la fusion des chromosomes 2 et 19 présents dans le caryotype des souris européennes.

D'amples variations de la biodiversité : les crises biologiques

Nous savons par la lecture des archives paléontologiques qu'au cours des temps géologiques des épisodes de forte spéciation contribuent à une biodiversité importante. Ces périodes font suite à des crises biologiques marquées par la disparition massive d'espèces.

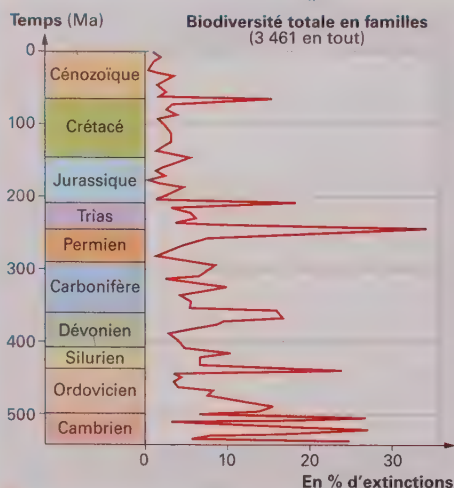


Quelle sont les conséquences d'une crise biologique sur la biodiversité ?

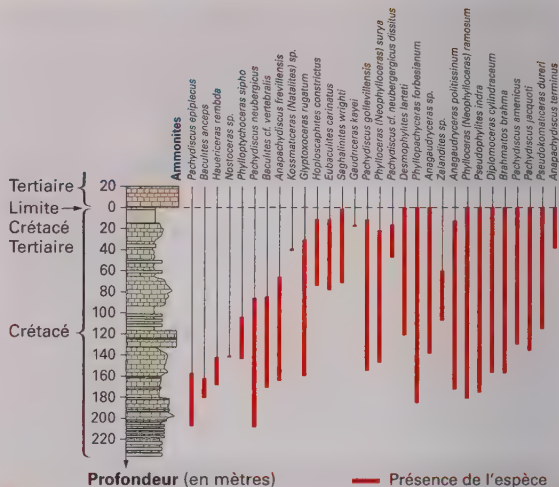
OBJECTIFS

- **Connaissances** : identifier une crise biologique ; comprendre l'origine des variations de la biodiversité lors d'une crise.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

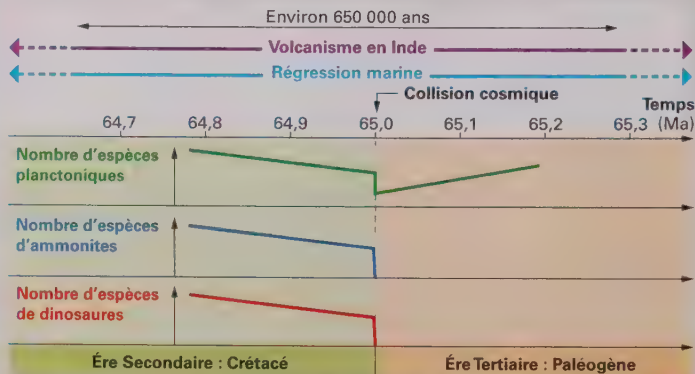
A Crise biologique et extinctions d'espèces



1 Évolution de la biodiversité depuis l'ère primaire en pourcentage d'extinction du nombre de familles.



2 Présence d'ammonites dans les sédiments de la fin du Crétacé de Loya (Pyrénées-Atlantiques).



SITES À CONSULTER

- <http://planet-terre.ens-lyon.fr>
- <http://evolution.berkeley.edu>

3 Les événements biologiques et géologiques à la transition Crétacé-Tertiaire.

On observe à la fois l'extinction (dinosaures, ammonites) ou la diminution de certains taxons mais également les témoignages d'un fort volcanisme, d'une régression marine et d'un impact avec une météorite de grande taille.

L'explosion de la biodiversité des mammifères au Tertiaire

4 Évolution des différentes espèces de mammifères lors de la transition Crétacé-Tertiaire.

Les observations basées sur les archives fossiles nord-américaines [...] témoignent très explicitement de l'explosion des mammifères placentaires à la base du Tertiaire. Celle-ci est illustrée par une évolution spectaculaire de la diversité et de la taille des espèces. [...] La phase de diversification la plus rapide correspond en effet au premier million d'années après le Crétacé. Un cas spectaculaire est celui des condylarthres*, chez lesquels R. Sloan (1987) a montré une multiplication par 10 du nombre d'espèces dans les premiers 500 000 ans. Il y a une augmentation extraordinaire de la taille des mammifères dès la base du Paléocène. À la fin du Crétacé, les espèces sont petites ou très petites avec des poids moyens de l'ordre de ceux des rats à trompes (90 grammes). Ces poids moyens passent rapidement à 600 grammes, puis 1 kg au début du Paléocène inférieur. [...] Avant la période d'accélération des taux d'évolution illustrée par l'augmentation rapide des diversités et des tailles, il existe une première période brève (400 000 ans), à la base du Paléocène, caractérisée par une faune appauvrie, dont les espèces sont dans l'ensemble plus petites que celles de la fin du Crétacé (en accord avec une extinction privilégiée des grandes espèces pendant la crise Crétacé-Tertiaire).

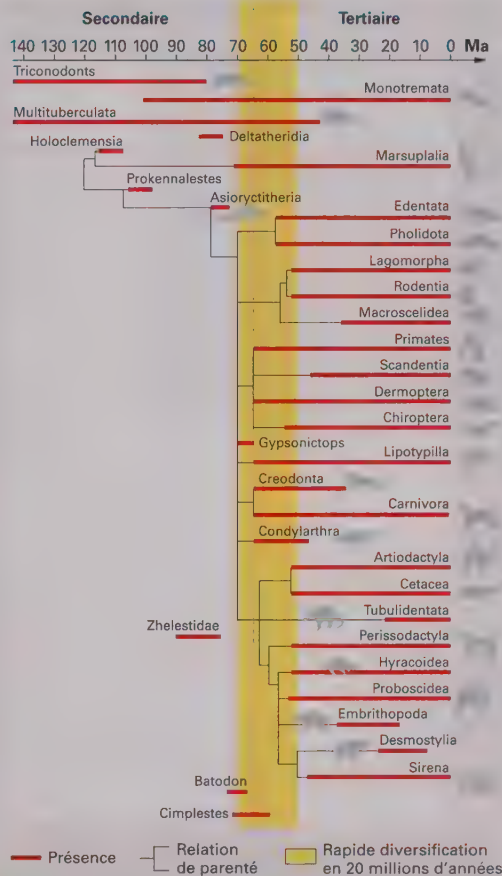
Emmanuel Gheerbrant, UMR 8569 CNRS, laboratoire de paléontologie, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

6 Deux modalités de la radiation évolutive.

Lorsque l'on observe l'apparition d'une variété d'espèces à partir d'un ancêtre commun, on parle alors de radiation. Celle-ci peut se faire suivant deux modalités.

– Une radiation évolutive adaptative : les nouvelles espèces se sont adaptées à un environnement nouveau. Les descendants, sous l'effet de la sélection naturelle, peuvent être d'aspect très différent de leur ancêtre et les uns des autres.

– Une radiation évolutive non adaptative : les nouvelles espèces apparaissent sous l'effet de la dérive génétique, celle-ci est fortement favorisée par la baisse très importante des effectifs.



5 Évolution des groupes de mammifères à la fin de l'ère secondaire et au début de l'ère tertiaire.

VOCABULAIRE

Les condylarthres : ils constituaient un groupe primitif proche des ongulés actuels comme le porc, le bœuf, le cheval...

EXPLOITATION

1. Repérer sur le graphique du document 1 les principales crises biologiques.

2. Montrer l'existence d'une crise importante à la limite Crétacé-Tertiaire (doc. 2 et 3).

3. Proposer une origine à la crise Crétacé-Tertiaire (doc. 3).

4. Présenter les arguments en faveur d'une radiation des mammifères au début du Tertiaire (doc. 4 et 5).

5. Expliquer comment une crise biologique peut favoriser l'apparition de nouvelles espèces (doc. 5).

6. Réaliser un schéma résumant l'évolution des mammifères durant le Secondaire et le Tertiaire (doc. 4 ; 5 et 6).

1

Diversité génétique des populations



1 Diversité génétique chez la souris.

Une mutation survenue chez la souris lui confère le caractère albinos (couleur blanche).

• Tous les individus d'une même espèce possèdent les **mêmes gènes**. Néanmoins, au sein d'une même espèce, un gène donné présente en général différentes versions appelées **allèles** (**activité 1**).

De façon spontanée, ou sous l'action de facteurs environnementaux, la séquence d'ADN d'un gène ou d'un secteur plus étendu de chromosome peut être modifiée. Il s'agit de **mutations** (**doc. 1**) qui sont à l'origine des allèles (**activité 1**). La variabilité de la molécule d'ADN explique donc la **diversité génétique**.

• L'étude des fréquences alléliques d'un gène au sein de différentes populations d'une même espèce montre l'existence de variations importantes. Ainsi la fréquence de l'allèle B, responsable de la possession du groupe sanguin B ou AB, présente des valeurs beaucoup plus élevées sur le continent asiatique qu'américain (**activité 1**). À l'opposé, pour une aire géographique donnée, si l'effectif de la population est important, la variation de la fréquence des divers allèles est faible.

2

La dérive génétique

Parent 2 \ Parent 1	Gamète A 50 %	Gamète B 50 %
Gamète A 50 %	Individu AA 25 %	Individu AB 25 %
Gamète B 50 %	Individu AB 25 %	Individu BB 25 %

2 Variabilité des résultats d'un croisement.

Un croisement entre deux individus présentant chacun deux allèles différents a 50 % de chances d'aboutir à des descendants ne présentant qu'un seul allèle.

• La vigne marronne, espèce invasive de l'île de la Réunion, présente une diversité allélique très inférieure à celle de la même espèce qui est implantée depuis beaucoup plus longtemps en Asie (**activité 2**). Cette diversité moindre s'explique par la **disparition de certains allèles** au sein d'une population, processus couramment observé dans de nombreuses espèces.

• Cette diminution du nombre d'allèles différents résulte de la **dérive génétique**. Il s'agit d'un mécanisme qui repose sur la **transmission aléatoire** des caractères à la descendance. Si un individu possède deux allèles différents (il est dit hétérozygote) d'un même gène, il n'en transmet qu'un seul à son descendant. Si deux individus hétérozygotes pour un gène n'ont qu'un seul descendant il y a 50 % de chances pour qu'il présente deux allèles identiques (il est dit homozygote) (**activité 2**). Un des deux allèles aura ainsi disparu lors de ce croisement (**doc. 2**).

• Cette dérive génétique dépend donc largement de l'**effectif de la population**. Dans des petites populations isolées, en quelques générations, on peut observer la disparition de nombreux allèles.

3

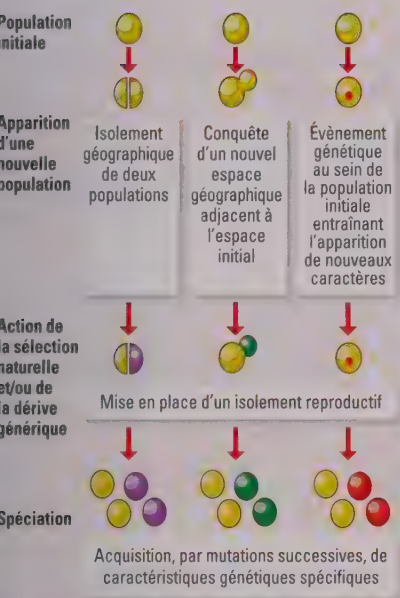
La spéciation ou l'apparition de nouvelles espèces



• La **spéciation** est un processus qui forme une nouvelle espèce. Une espèce regroupe des individus qui se ressemblent, qui sont capables de se reproduire entre eux et dont les descendants sont fertiles. Ainsi une population B issue d'ascendants qui appartiennent à une espèce A ne constitue une nouvelle espèce B que si les individus de B ne peuvent se reproduire qu'entre eux alors que leur croisement avec les individus A donne des individus stériles. On parle d'**isolement reproductif** pour décrire cette situation (**doc. 3**).

3 Une nouvelle espèce.

Cette espèce d'oiseaux nectarivores endémiques de l'archipel d'Hawaï dérive très certainement d'un ancêtre proche du roselin familier (*Carpodacus mexicanus*). Elle s'est formée par isolement géographique, processus favorisé par la géographie de l'archipel.



4 Différentes possibilités conduisant à la spéciation.



● Chez l'insecte *Timema*, on observe une sélection des individus présentant la plus grande similitude morphologique avec le végétal hôte sur lequel ils résident et se nourrissent (on parle de mimétisme) (**activité 3**). L'apparition de mutations qui modifient l'efficacité du mimétisme est un **évènement aléatoire**. Cependant, sous l'action des prédateurs (pour qui repérer les insectes s'avère plus aisé si ce mimétisme est faible), on observe une plus grande survie des individus à fort mimétisme. Un tel mécanisme dans lequel la fréquence allélique au sein d'une population est modifiée sous l'influence de facteurs environnementaux est qualifié de **sélection naturelle**.

Cette dernière a été décrite pour la première fois par Charles Darwin. C'est un mécanisme général. Ainsi, au gré des mutations, certains allèles peuvent conférer aux individus qui les portent une efficacité reproductive plus grande, un taux de survie supérieur dans un environnement donné. ➡ (**Questions de sciences p. 89**)

● Chez les souris de l'île de Madère (**activité 3**), on observe l'existence de six espèces différentes issues d'ancêtres européens (portugais et scandinaves). Elles possèdent toutes un caryotype propre, rendant tout croisement entre elles impossible. La topographie de l'île a certainement contribué à l'isolement géographique de petites populations. Cette **spéciation** résulterait donc essentiellement de la **dérive génétique**. C'est un second mécanisme générateur d'espèces nouvelles.

Contrairement à la sélection naturelle, les allèles ainsi fixés dans la nouvelle espèce peuvent ne présenter aucun avantage sélectif pour les individus.

● La sélection naturelle et la dérive génétique, par l'isolement reproductif qu'elles engendrent, sont donc deux mécanismes conduisant à l'apparition de nouvelles espèces (doc. 4).

Amplès variations de la biodiversité et crises biologiques



5 Radiation des oiseaux au début de l'ère tertiaire.

● L'histoire de la Terre est marquée par des **crises biologiques** caractérisées par une extinction brutale et massive d'espèces (**activité 4**). Ainsi à la transition entre l'ère secondaire et l'ère tertiaire, on observe la **disparition de nombreuses espèces** et de nombreux groupes comme les dinosaures ou les ammonites. Ces crises biologiques s'expliquent par l'existence de phénomènes géologiques majeurs comme les régressions marines, le volcanisme ou l'impact de météorites qui bouleversent de manière significative les écosystèmes (**activité 4**).

● Postérieurement à cette crise, on observe une **forte diversification des groupes** ayant franchi la crise. Par exemple, les mammifères connaissent une radiation qui se traduit par l'apparition de très nombreux nouveaux groupes (**activité 4**). Cette **radiation des espèces** s'explique par l'apparition de nouveaux environnements, dans lesquels la sélection naturelle contribue au phénomène de spéciation. L'action de la dérive génétique s'exerce également ; elle est largement favorisée par la mise en place d'effectifs réduits au cours de la crise (**activité 4**).

● Les **crises biologiques** constituent donc des événements majeurs dans l'évolution de la vie sur notre planète, entraînant un renouvellement profond des environnements et de la biodiversité (doc. 5).

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Les forces évolutives à l'origine de la biodiversité

Au sein des populations, on observe des **différences entre des gènes** des individus.

Cette variation génétique repose sur la **variabilité** de la molécule d'ADN.

La **diversité des allèles** est un des aspects de la biodiversité.

La molécule d'ADN peut subir des **transformations** modifiant sa séquence. Il s'agit du **processus de mutation**. Les mutations créent de nouvelles **versions des gènes** : les allèles.

La **dérive génétique** est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle résulte du caractère aléatoire de la transmission des allèles à la descendance.

Elle se produit de façon plus marquée lorsque **l'effectif de la population est faible**.

La **spéciation** est le processus conduisant à l'apparition d'une nouvelle espèce après isolement reproductif d'une population.

La sélection naturelle est un processus entraînant la **fixation d'allèles** et donc potentiellement de caractères. Cette fixation est réalisée pour des caractères conférant un avantage à un instant (t) à la population dans un environnement donné. Elle peut aboutir à un isolement reproductif.

La **sélection naturelle** et la **dérive génétique** peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.

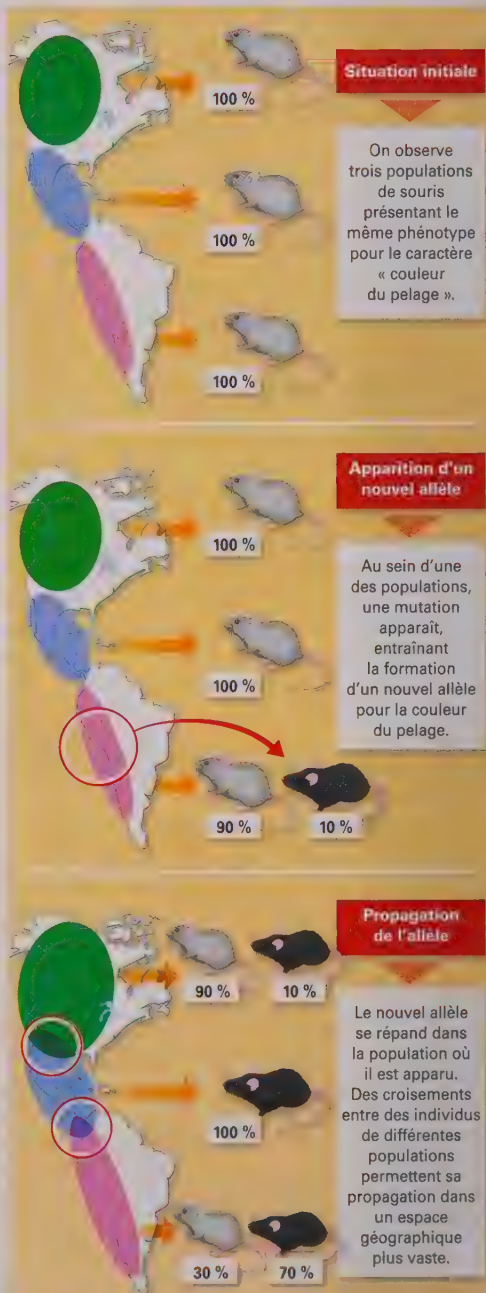
La Terre a connu plusieurs grandes **crises biologiques** (extinctions massives d'espèces). Elles résultent de changements environnementaux importants qui favorisent la sélection naturelle. La baisse des effectifs est propice à la dérive génétique. Ces deux processus expliquent la diversification des espèces observée postérieurement.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

- Utiliser les technologies de l'information et de la communication.
- Pratiquer une démarche scientifique : modéliser.

- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.

■ Formation et propagation d'un nouvel allèle



■ La dérive génétique

Évolution de la fréquence de l'allèle A dans les populations durant 100 générations

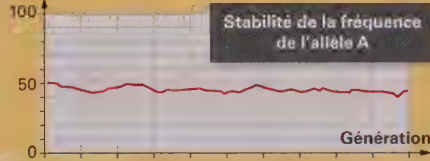
Situation initiale

Effectif important

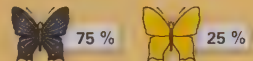


Allèles possédés par le papillon	Couleur des ailes
A et B	Noires
A et A	Noires
B et B	Jaunes

Fréquence de l'allèle A



Situation finale



Effectif réduit



Fréquence de l'allèle A



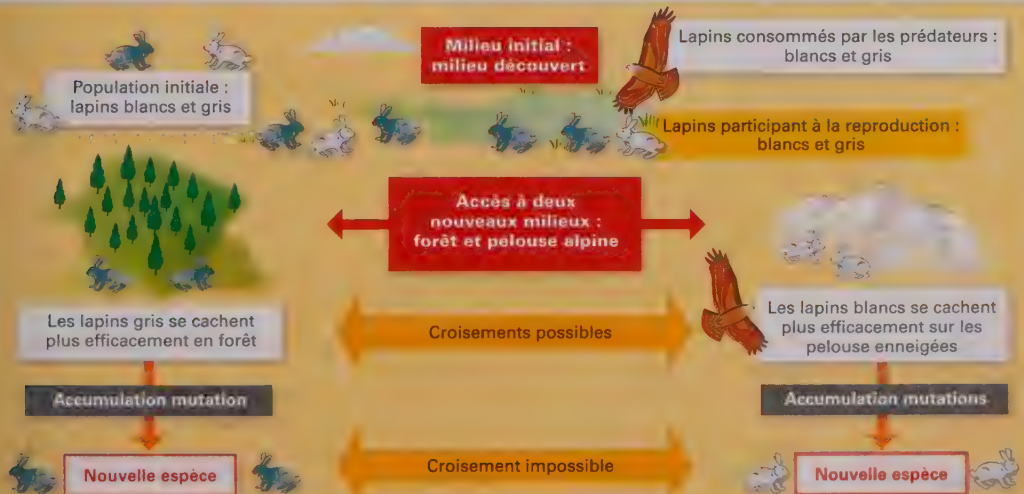
Effectif réduit



Fréquence de l'allèle A



■ Sélection naturelle et spéciation



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Les individus d'une même espèce :
 1. possèdent tous les mêmes gènes.
 2. présentent des allèles identiques.
 3. peuvent engendrer un descendant fertile.
- b.** Les allèles d'un gène :
 1. ont toujours les mêmes proportions au sein des populations.
 2. se forment grâce aux mutations.
 3. peuvent disparaître au cours du temps.
- c.** La dérive génétique :
 1. favorise les mutations.
 2. se produit préférentiellement dans les petites populations.
 3. ne porte que sur des allèles présentant un avantage pour l'individu.
- d.** La spéciation :
 1. est favorisée par la dérive génétique.
 2. est favorisée par la sélection naturelle.
 3. ne peut se produire qu'en cas de crise biologique.
- e.** Les crises biologiques :
 1. entraînent une diminution brutale du nombre d'espèces.
 2. constituent un moteur pour la diversification des espèces.
 3. désigne la disparition d'espèces.

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Les mutations créent de nouveaux allèles.
- b.** La fréquence d'un allèle dans une population dépend uniquement des avantages que confère cet allèle.
- c.** La dérive génétique entraîne la fixation d'allèles sans avantage pour l'individu.
- d.** La spéciation est un phénomène ne concernant que des populations isolées.
- e.** Les crises biologiques provoquent un appauvrissement des espèces.
- f.** La sélection naturelle conduit à l'apparition de nouvelles espèces.
- g.** La sélection naturelle favorise le maintien de gènes conférant un avantage à un instant donné.

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Allèle
- b.** Mutation
- c.** Dérive génétique
- d.** Spéciation
- e.** Radiation évolutive
- f.** Crise biologique

4 Restitution organisée de connaissances

EXERCICE CORRIGÉ

Répondre aux questions suivantes.

- a.** Expliquer comment se créent de nouveaux allèles.
- b.** Montrer comment la dérive génétique contribue à modifier la diversité des allèles au sein des populations.
- c.** Expliquer comment l'environnement permet la genèse de nouvelles espèces.
- d.** Présenter l'impact d'une crise biologique sur la biodiversité.
- e.** Comparer les rôles respectifs de la dérive génétique et de la sélection naturelle dans l'apparition de nouvelles espèces.

5 Construction d'une phrase

Communiquer des idées et des données scientifiques

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a.** ADN, mutation, gènes, allèles.
- b.** Variabilité, population, allèles, fréquence.
- c.** Dérive génétique, aléatoire, descendant, caractère.
- d.** Sélection naturelle, allèle, fixation, disparition.
- e.** Diversification, crise biologique, espèces.
- f.** Crise biologique, petites populations, dérive génétique, spéciation.

6 Raisonnement logique



Remettre les phrases dans un ordre logique afin de montrer que les crises biologiques permettent l'apparition d'un grand nombre de nouvelles espèces. On peut utiliser des conjonctions (or, donc...).

- a.** L'apparition de nouveaux milieux favorise la sélection naturelle.
- b.** La dérive génétique, qui se produit préférentiellement dans les petites populations, peut conduire aux mécanismes de la spéciation.
- c.** Les crises biologiques créent également des populations à faible effectif.
- d.** La sélection naturelle entraîne la fixation d'allèles pouvant conduire à la formation de nouvelles espèces.
- e.** Les crises biologiques entraînent de fortes modifications des milieux.
- f.** La sélection naturelle favorise le maintien d'allèles qui confèrent un avantage à un moment t.

Analyser des documents

7 Conséquences de la diversité allélique

Pratiquer un raisonnement scientifique



L'alpha-antitrypsine est une protéine sécrétée par le foie. Elle inactive une protéase libérée par les globules blancs. En l'absence d'alpha-antitrypsine, cette protéase détruit peu à peu le tissu pulmonaire, ce qui engendre une maladie finalement mortelle, l'emphysème pulmonaire. On connaît différents allèles du gène codant cette protéine. On étudie les séquences de certains de ces allèles (**doc. 1**) et leur fréquence dans la population française (**doc. 2**).

Position des nucléotides	1	10	20.....850	860	870.....1 190	1 200	1 210
Allèle M1	ATGCCGTCTTCTGCTCTGTG.....	CTACAGCACCTGGAAAATGA.....	AATGATTGAACAAAATACCA				
Allèle M2	ATGCCGTCTTCTGCTCTGTG.....	CTACAGCACCTGGAAAATGA.....	AATGATTGACAAAATACCA				
Allèle S	ATGCCGTCTTCTGCTCTGTG.....	CTACAGCACCTGGTAAATGA.....	AATGATTGAACAAAATACCA				

1 Séquences des allèles du gène codant pour la protéine alpha-antitrypsine.

Allèles	Fréquence estimée en %	Taux d'alpha-antitrypsine dans le sang (en % par rapport au normal)
M1	44-49	100
M2	14-19	100
S	2-4	40-70

2 Fréquence dans la population française des allèles du gène codant pour la protéine alpha-antitrypsine.

a. Comparer les séquences des trois allèles et expliquer l'origine des différences observées.

b. Quelles sont les conséquences physiologiques pour les individus possédant les allèles M2 et S ?

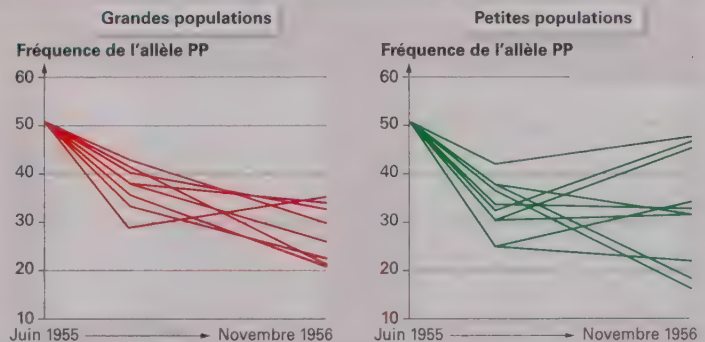
c. Proposer une explication à la valeur des fréquences observées au sein des populations.

8 Évolution des allèles au sein d'une population

Pratiquer un raisonnement scientifique

EXERCICE CORRIGÉ

Dobzhansky et Pavlovsky ont construit un protocole pour tester l'hypothèse de l'action de la dérive génétique sur la diversité des allèles d'une population. Ces deux chercheurs utilisent des populations de *Drosophila pseudoobscura*. Ils considèrent les deux allèles (PP et AR) d'un même gène. Le protocole consiste à laisser évoluer des populations de mouches, pendant 18 mois, dans un environnement stable. Dix d'entre elles comptent 4 000 mouches (notées « grandes populations ») et dix autres sont constituées de 20 individus (notées « petites populations »). Au début de l'expérience, la fréquence des deux allèles est identique (50 %).



3 Fréquence des allèles PP et AR au sein d'une grande et d'une petite population de mouches.

Sachant que la somme des fréquences de l'allèle PP et de l'allèle AR est égale à 100 %, on peut en déduire la fréquence de l'allèle AR.

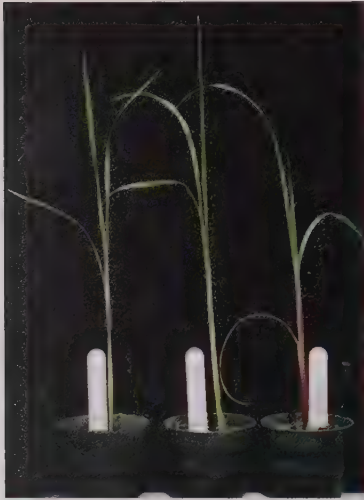
a. Décrire l'évolution des fréquences alléliques au sein des petites et des grandes populations.

b. Comment expliquer les différences de fréquences obtenues en fin d'expérience ?

c. Pourquoi ces différences sont-elles plus marquées au sein des petites populations ?

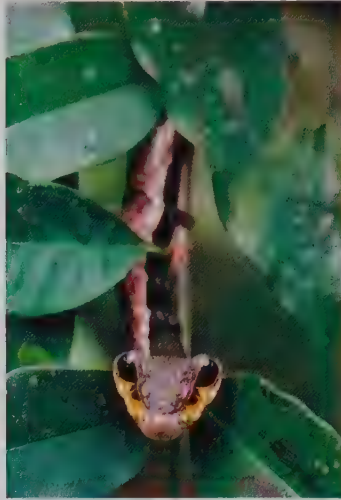
9 Mimétisme et sélection des populations Pratiquer un raisonnement scientifique

On observe aussi bien chez les végétaux que chez les animaux l'existence de ressemblances morphologiques très importantes entre des espèces parfois de parenté éloignée ; on parle alors de mimétisme.



1 Plant de riz et plantes du genre *Echinochloa*.

On compare un plant de riz (à gauche) à deux « mauvaises herbes » du genre *Echinochloa*. On note que, dans les pays pratiquant le désherbage manuel, les rendements du riz sont fortement limités par l'existence de ces végétaux.



2 Chenille du Costa Rica.

Cette chenille présente une étonnante similitude avec un serpent toxique habitant dans la même forêt.

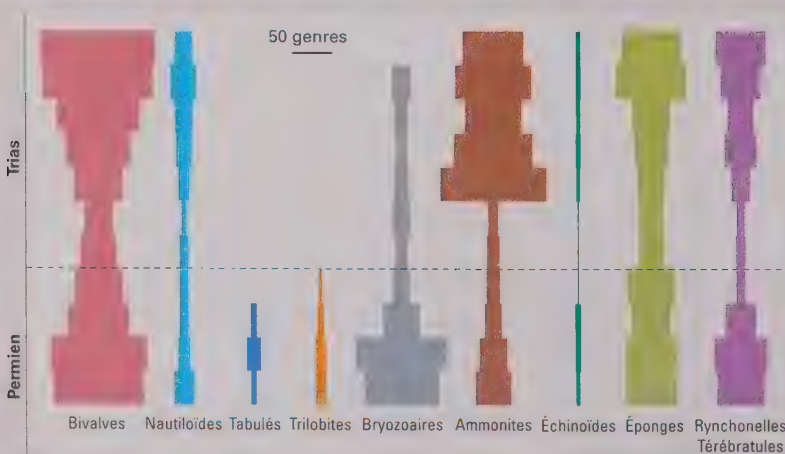


3 Orchidée *Ophrys apifera*.

Cette espèce d'orchidée présente une morphologie et une couleur de fleur qui rappelle l'abdomen d'une abeille.

- Présenter dans chacun des cas l'avantage que le mimétisme peut conférer à l'espèce.
- Présenter, sous la forme d'un schéma, les événements génétiques et environnementaux ayant conduit à la forte ressemblance entre la plante *Echinochloa* et le plant de riz.

10 La crise du Permien-Trias Pratiquer un raisonnement scientifique



Évolution de quelques familles de la faune marine au cours du Permien et du Trias.

Les temps géologiques sont séparés en ères, elles-mêmes découpées en étages. La séparation entre l'ère primaire et secondaire correspond à la limite entre les étages du Permien et du Trias.

- Montrer que la limite Permien-Trias correspond à une crise biologique.
- Proposer une explication à l'évolution des bivalves à la transition Permien/Trias.

11 Apparition d'un isolement reproductif au sein d'une espèce

Pratiquer un raisonnement scientifique

■ En utilisant les documents 1 et 2, montrer la variété des mécanismes pouvant conduire à l'isolement reproductif puis à la spéciation au sein des populations d'êtres vivants.

1 Différentes populations de moustique.

On a découvert dans le métro de Londres une population de moustiques particulière. Si la population en question est bien l'espèce *Culex pipiens* (la même espèce qui vit dans Londres), la forme trouvée dans le métro est appelée *Culex pipiens molestus* car présentant un certain nombre de différences avec ses congénères vivant à l'air libre. Ainsi, la forme à l'air libre se nourrit essentiellement du sang d'oiseaux, alors que la forme *molestus* se nourrit du sang de mammifères (rat, souris, passagers du métro !). La forme à l'air libre ne se reproduit qu'en milieu ouvert et la ponte nécessite un repas de sang, tandis que, chez *molestus*, la copulation se fait en milieu confiné et la ponte ne nécessite pas de repas préalable.

Des analyses génétiques en laboratoire montrent une séparation nette entre les deux populations, mais, plus étonnant encore, au sein de la forme *molestus*, on observe des différences entre les groupes selon les lignes de métro !



Cette différenciation génétique s'est produite en moins d'un siècle, ceci pourrait être lié à deux phénomènes propres aux conditions de vie dans le métro : les températures y sont douces même en hiver, ce qui permettrait d'observer plusieurs cycles reproductifs par an ; de plus les milieux confinés entraînent une dérive génétique qui favorise la spéciation.

2 Spartines poussant sur le littoral.

Les spartines sont des poacées poussant sur le littoral. Différentes espèces existent, réparties sur des aires géographiques différentes. Au XIX^e siècle, en Angleterre, on observait ainsi *Spartina maritima* qui possédait 30 paires de chromosomes. Les bateaux provenant des États-Unis ont permis l'introduction de *Spartina alterniflora* qui comporte 31 paires de chromosomes. Les deux espèces alors en contact ont formé des hybrides, stériles dans un premier temps, qui se reproduisaient uniquement de manière asexuée. Ces hybrides sont devenus après quelques générations une espèce à part entière : *Spartina anglica* possédant l'ensemble des chromosomes des deux autres espèces, soit 61 paires de chromosomes. Ce phénomène, fréquent chez les végétaux, est appelé polyploïdie.



Restituer ses connaissances de façon organisée

12

Variabilité de la biodiversité

Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Présenter les différents mécanismes expliquant le renouvellement des espèces au cours des temps géologiques.

Intégrer des schémas, notamment un schéma expliquant les mécanismes conduisant à la spéciation.

Une grande expédition naturaliste



1 Charles Darwin (1809-1882).



2 Le *Beagle*, navire de la Marine royale britannique sur lequel Darwin voyagea pendant cinq ans.

Cette expédition avait pour but de réaliser un relevé cartographique des côtes d'Amérique du Sud ; elle permettra aussi à Charles Darwin de dresser un inventaire des formes de vie rencontrées.

SITES À CONSULTER

- <http://acces.inrp.fr/santo/pedagogie/histoire/le-voyage-de-charles-darwin-sur-le-beagle-un-exemple-d2019expedition-scientifique-qui-a-marque-l2019histoire-des-sciences-1>
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosdarwin/>

Au milieu du XVIII^e et au XIX^e siècle, les **grandes expéditions** se multiplient : elles permettent de cartographier de nouvelles régions mais aussi de tracer de nouvelles routes pour le commerce maritime, de découvrir des territoires, des espèces végétales et animales ainsi que des peuples inconnus, de rapporter en Europe des spécimens de plantes et de fruits tropicaux, et de faire progresser certaines disciplines. C'est dans ce contexte que s'organise l'expédition du navire britannique, le *Beagle*, sur lequel **Charles Darwin**, alors jeune étudiant en théologie, s'embarquera pendant cinq ans pour un voyage autour du monde.

■ Dans cette expédition, Darwin choisit d'endosser le rôle de **naturaliste**. Fort de sa solide formation de terrain, notamment en entomologie et botanique, il exploite ses qualités d'observation en récoltant, décrivant et inventoriant les nombreuses espèces animales et végétales qu'il découvre au cours de ce voyage autour du monde.

■ Darwin récolte une quantité colossale de matériel au cours de cette expédition (1 529 échantillons conservés dans l'alcool, 3 907 éléments conservés à sec) et rédige de très nombreuses notes (1 383 pages de notes de géologie et 368 pages de notes de zoologie) dont il se servira en 1838 pour écrire son récit de voyage. Il note ainsi dans son journal, à la date du 26 juillet 1832, à propos de son séjour de 10 semaines à Maldonado (à proximité de Montevideo) : « [...] et, pendant ce temps, je pus me procurer une collection presque complète des animaux, des oiseaux et des reptiles de la contrée. »

■ Charles Darwin récolte, identifie des espèces, et s'interroge sur les formes de vie rencontrées. C'est au cours de ce voyage qu'il élabore sa **théorie de l'évolution des espèces et de la sélection naturelle**.



3 Le voyage de Darwin à bord du *Beagle* (1831-1836).

Le difficile inventaire des espèces

Le nombre d'espèces végétales et animales connues, c'est-à-dire décrites et nommées, sur lequel s'accordent les scientifiques est d'environ 1,7 millions. Selon les estimations, il en resterait 10 ou 100 millions à découvrir. Autant dire que l'inventaire est loin d'être achevé, et que de multiples espèces disparaissent avant même d'avoir été reconnues, caractérisées et décrites. Pourtant les systématiciens, scientifiques de la classification du vivant, mettent au jour chaque année près de **15 000 espèces nouvelles**. Beaucoup sont des insectes, mais de nouveaux mammifères et des arbres rentrent aussi dans le grand catalogue des espèces nouvellement inventoriées.

■ Mais, est-ce bien utile de vouloir nommer toutes les espèces ? À quoi cela sert-il ? « À fournir aux scientifiques et à la société les moyens de communiquer sans ambiguïté sur les propriétés et attributs des espèces. Comment voulez-vous dire que telle espèce est menacée de disparition si vous ne disposez pas de nom pour la désigner ? » répond Philippe Bouchet, directeur de l'unité taxonomie-collections du Muséum qui reconnaît que **chaque nouvelle découverte** d'espèce ne bouleverse



■ Le radeau des cimes.

Véritable laboratoire suspendu, le radeau des cimes est ouvert à tous les scientifiques concernés par la forêt équatoriale. Un dirigeable à air chaud de 48 mètres de long dépose une plate-forme de 600 m² sur la canopée servant à la fois de site d'observation et de surface de travail pour les équipes scientifiques. De novembre à décembre 2001, le radeau s'est posé à Madagascar sur la péninsule de Masoala, l'un des derniers sites de forêts tropicales humides intactes.

certaines pas la systématique. « Il s'agit parfois d'une forme très proche morphologiquement d'une espèce déjà connue. Ce sont ses caractéristiques moléculaires, éthologiques ou biologiques qui confirment alors ou non que les différences sont suffisantes pour qu'une nouvelle espèce soit nommée. »

■ Devenu enjeu mondial, l'**inventaire des espèces** est aussi l'annuaire qui permet à l'Union mondiale pour la nature (IUCN) de publier chaque année la liste rouge des espèces menacées de disparition.

Évoluer équivaut-il à progresser ?

Évoluer équivaut-il à progresser ? Dans le langage courant, c'est souvent le cas. **L'évolution biologique** tend-elle forcément vers un « mieux » ?

■ Beaucoup d'ouvrages didactiques l'acceptent tacitement. Après tout, l'idée de progrès est pour ainsi dire sous-jacente à la notion même de **sélection naturelle** : si celle-ci entraîne la survie du plus apte, alors les organismes s'améliorent au fil du temps. De plus, les organismes n'ont-ils pas accumulé de plus en plus de nouveautés, de complexité structurale et fonctionnelle au cours des temps géologiques ?

■ Nul doute qu'aux organismes unicellulaires des premiers temps ont succédé des animaux et des plantes de plus en plus complexes. Largement acceptés, ces deux raccourcis illustrent combien **évolution et progrès** sont souvent confondus.

■ [...] La **sélection** s'exerçant sur certains caractères peut menacer l'existence même des espèces qui les expriment. C'est en particulier le cas des adaptations à un environnement restreint. Que penser de cette mouche des Kerguelen, *Calycopteryx moseleyi*, qui a perdu ses ailes ? En un sens, elle a « progressé » à l'échelle

■ Mouche des Kerguelen, *Calycopteryx moseleyi*, qui a perdu ses ailes.



locale, car elle ne peut plus être entraînée hors de ces îles isolées par les vents forts qui les balaient. Mais elle ne peut pas non plus émigrer.

■ Si les îles Kerguelen disparaissaient, le « **progrès adaptatif** » de ces mouches leur serait fatal. Il en va de même pour les parasites qui se spécialisent sur un hôte unique comme l'agent de la variole sur l'Homme. Certes, ils optimisent ainsi l'exploitation de leur hôte, mais ils en deviennent dépendants au point que la disparition de cet hôte ou l'apparition de défenses très efficaces peuvent les éradiquer ! La **spécialisation évolutive** est donc un pari risqué, et le perfectionnement adaptatif dans un milieu peut rendre moins adapté à d'autres.

La Recherche, 412, octobre 2007.

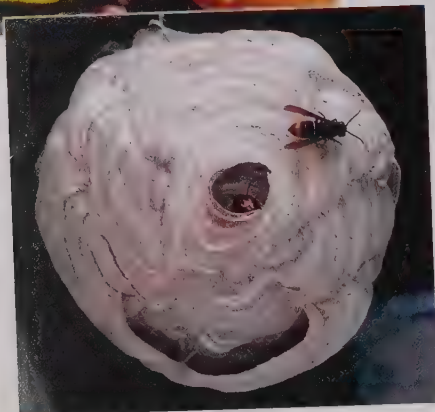
SITES À CONSULTER

- <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-evolution-progres.xml>
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/accueil.html>

L'introduction d'une nouvelle espèce en France



1 Frelon asiatique.



2 Nid de frelon asiatique.



3 Frelon d'Europe.



4 Nid de frelon d'Europe.

En novembre 2005, un entomologiste de Nérac (Lot-et-Garonne) surprend une drôle de guêpe très sombre en train de manger un fruit et s'étonne de ne pas y voir une des espèces locales qu'il connaît pourtant très bien. L'animal est caractérisé par une longueur de 3 cm, un thorax entièrement brun-noir velouté, des segments abdominaux bruns, bordés d'une fine bande jaune, d'une tête noire et d'une face jaune orangé. Il est identifié comme étant un **frelon asiatique** (*Vespa velutina*). Ce frelon est impossible à confondre avec l'unique espèce européenne, le **frelon d'Europe** (*Vespa crabo*), au corps taché de roux, de noir et de jaune, et à l'abdomen jaune rayé de noir. C'est la première fois que le frelon asiatique est identifié en France et en Europe.

■ Selon un producteur de bonzaïs de la région, le frelon asiatique a pu être introduit accidentellement avec les cartons de poteries chinoises qu'il importe régulièrement depuis plusieurs années.

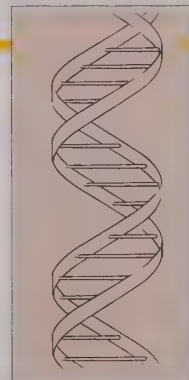
Il est à craindre que le frelon asiatique n'envahisse peu à peu les parties les plus chaudes de l'Europe. Or, son expansion pourrait représenter une menace pour l'apiculture puisque l'insecte est un **prédateur avéré des abeilles**. À cette date, l'ampleur de l'invasion est telle que toute tentative d'éradication du frelon asiatique semble devenue inutile. Il ne reste qu'à suivre l'expansion de cette espèce, nouvelle pour la faune européenne. Une fiche d'information et la carte de répartition du frelon asiatique en France sont présentes sur le site de l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN).

SITES À CONSULTER

- www.inpn.fr/fr/espaces-naturels
- www.mnhn.fr/fr/espaces-naturels

LA MOLÉCULE D'ADN

Molecular structure of nucleic acids A structure for deoxyribose Nucleic acids



1 Schéma de la molécule d'ADN dans l'article publié en 1953 par J. D. Watson et F. H. C. Crick.

■ [...] We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). [...] Each chain loosely resembles Furberg's model n°1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furberg's standard configuration, the sugar being roughly perpendicular to the attached base.

■ [...] The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

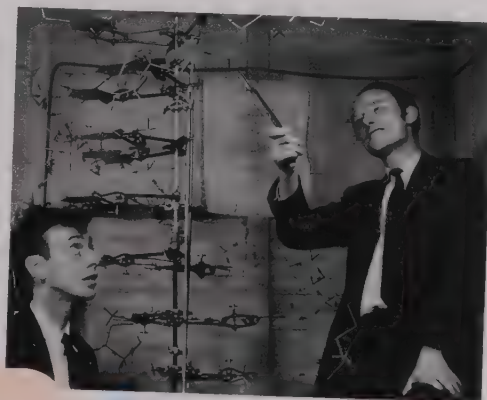
■ If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms, [...] it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

■ In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

■ It has been found experimentally that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanine to cytosine, are always very close to unit y for deoxyribose nucleic acid.

■ [...] The previously published X-ray data on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. [...]

J. D. Watson et F. H. C. Crick., *Nature*, avril 25, 1953. *Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of the Biological Systems, Cavendish Laboratory, Cambridge.*



2 J. D. Watson et F. H. C. Crick présentent la structure de la molécule d'ADN en avril 1953.

Résumé en français

■ « Notre souhait est de proposer une théorie radicalement différente sur la structure de l'acide désoxyribonucléique. Cette structure est constituée de deux chaînes en hélice enroulées autour du même axe (doc. 2).

■ Nous avons formulé des hypothèses sur la composition chimique habituelle de cette molécule, à savoir que chaque chaîne consiste en des groupes de diester-phosphate reliés à des groupements β -D-désoxyribose par des liaisons 3'-5'.

■ Ces deux chaînes (mais pas leurs bases) sont unies sous la forme de dyades, perpendiculaires à l'axe de la fibre.

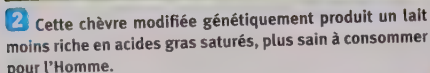
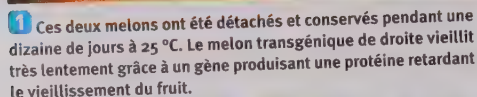
■ Les deux chaînes se présentent sous la forme d'hélices dextres, mais, en raison de la dyade, les séquences d'atomes des deux chaînes sont disposées en sens opposé.

■ Chaque chaîne ressemble approximativement au premier modèle de Furberg : c'est-à-dire que les bases sont disposées à l'intérieur de l'hélice et les groupements phosphate sont à l'extérieur. La configuration du sucre et des atomes voisins est proche de la configuration standard proposée par Furberg, le sucre étant à peu près disposé perpendiculairement à la base à laquelle il est relié. »

SITES À CONSULTER

- <http://www.nature.com/nature/dna50/archive.html> (permet de télécharger l'article original de J. D. Watson et F. H. C. Crick, publié en 1953 dans la revue *Nature*)
- <http://www.nature.com/nature/focus/crick> (permet l'accès à différents articles de F. H. C. Crick, dont l'un publié en 1974)
- <http://www.medecine.unige.ch/enseignement/dnaftb/> (un site éducatif très riche sur les bases de la génétique classique et moléculaire)

Les principaux domaines d'application de la transgénèse



La technique de transgénèse permet de produire des organismes génétiquement modifiés (OGM) aux propriétés nouvelles. Certains de ces OGM ou leurs produits sont déjà commercialisés, d'autres sont encore au stade de l'expérimentation. La transgénèse concerne différents domaines.

Modification des plantes (**doc. 1**) pour une meilleure conservation (tomate, melon), pour améliorer leurs qualités nutritionnelles (riz).

Création de variétés de plantes résistantes à des parasites (maïs transgénique résistant à un papillon parasite, la Pyrale ; tabac transgénique, résistant au virus de la Mosaïque), création de variétés de plantes résistantes aux herbicides ; création d'animaux transgéniques à croissance accélérée (porc, saumon...).

Production de molécules pharmaceutiques par des organismes génétiquement modifiés (insuline, hormone de croissance...) (**doc. 2**) ; production de vaccins.

Thérapie génique : méthode consistant à insérer dans l'ADN de cellules anormales une version normale d'un allèle (exemple : traitement d'enfants souffrant d'un déficit immunitaire sévère) ; création d'animaux transgéniques (porc) (**doc. 3**) dans le but de greffe d'organes destinés à l'Homme (la transgénèse a pour but ici de réduire les phénomènes naturels de rejet de greffe).

Meilleure compréhension du fonctionnement des gènes.

3 En août 2002, une entreprise a annoncé la naissance de cinq porcelets – dont quatre ont survécu – totalement dépourvus d'un gène codant une enzyme responsable du rejet immédiat par le corps humain d'un organe de porc.



Couvrir les métiers la médiation scientifique

Un **médiateur scientifique** a pour vocation d'assurer la médiation entre les chercheurs et le grand public : il a pour mission de favoriser la transmission de connaissances scientifiques auprès de différents publics, par exemple dans des lieux d'exposition mais aussi dans la presse écrite... Il existe différents métiers en relation avec la médiation scientifique, citons par exemple :

- **Animateur scientifique** : il conçoit et conduit des projets de médiation scientifique comportant la présentation d'expériences scientifiques devant des publics variés (groupes scolaires, visiteurs étrangers, ...), notamment dans des musées.
- **Coordinateur de manifestation de culture scientifique** : il constitue, coordonne et anime une équipe d'animateurs scientifiques.
- **Journaliste scientifique** : il rédige des articles spécialisés destinés à des revues de vulgarisation scientifique.

Les compétences

- Les métiers de la médiation scientifique nécessitent une maîtrise des connaissances scientifiques liées à au moins un domaine scientifique. Ils demandent une bonne maîtrise de l'expression orale et écrite, mais aussi de savoir transmettre un savoir complexe auprès de publics variés.
- La maîtrise d'une langue étrangère au moins est indispensable.

Les études

- Les médiateurs scientifiques sont généralement titulaires d'un Bac + 5 dans un domaine scientifique ou d'un diplôme d'ingénieur. Il est recommandé d'avoir une formation complémentaire en relation avec la médiation scientifique (licence ou master).

Les débouchés

- Médiateur dans les musées, départements de médiation scientifique de différents organismes publics ou privés ; rédacteur dans les revues de vulgarisation scientifique ; éditeur scientifique.

Liens utiles

sur le site compagnon.

Portrait

Photographe animalier

Depuis plus de vingt ans, Christine et Michel Denis-Huot passent plusieurs mois par an en brousse : ils explorent la savane en toute indépendance à bord de leur 4X4, observent et photographient la faune africaine et son environnement. Ils sont les auteurs de nombreux ouvrages et ont reçu de nombreux prix internationaux. Leur métier les amène à être sur le terrain une grande partie de leur temps.

Ce métier exigeant leur demande de quitter avant le lever du jour la tente qui les met à l'abri des fauves, des éléphants, des buffles... et de la poussière, pour surprendre les lions aux toutes premières lueurs quand ils sont actifs ou encore pour suivre le réveil d'une famille de guépards que la nuit a surpris au milieu de la plaine, ou guetter la panthère qui



arpenne son territoire et retourne rejoindre la proie qu'elle a laissée dans un arbre... Il faut attendre, toujours attendre, une chasse, un combat, la belle lumière... Travailler sur les animaux met la patience à rude épreuve. Heureusement, chaque jour passé en brousse est différent.

Pour eux, photographier les animaux n'est pas seulement un métier, c'est avant tout une passion pour la nature, les grandes étendues sauvages, la liberté... Le photographe de nature est le témoin privilégié de

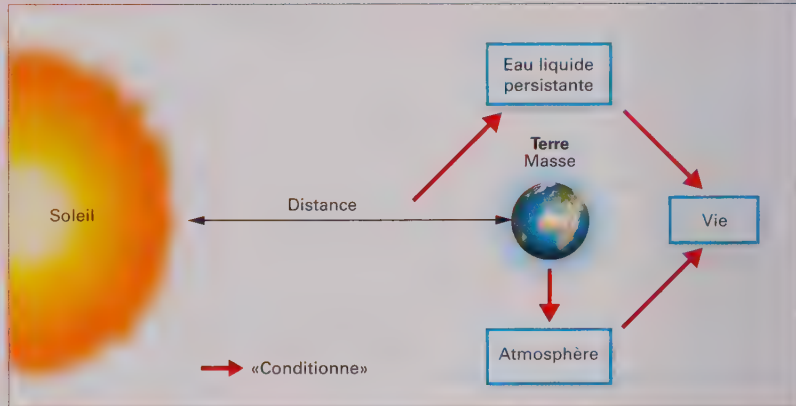
la beauté de notre environnement. Par ses photographies, il montre la richesse, la diversité, l'incroyable vitalité de la faune et de la flore, mais aussi sa fragilité face à une démographie croissante et à une exploitation non réfléchie des ressources de notre planète.

Pour devenir photographe animalier, il n'y a pas de formation professionnelle bien définie : ce métier requiert de la passion pour les animaux et pour la photographie et nécessite de la patience.

La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution

Les conditions de la vie

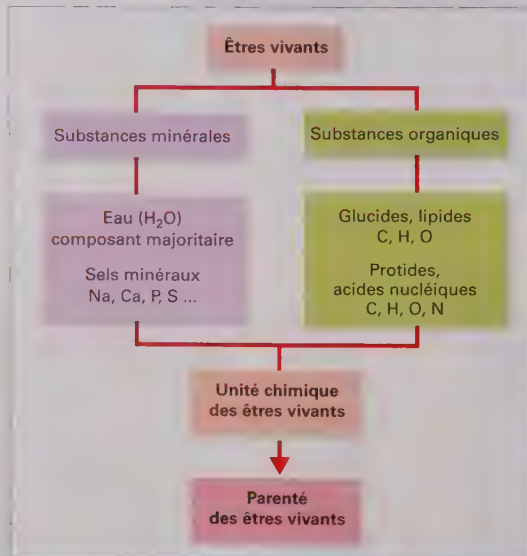
- La distance de la Terre au Soleil permet des conditions de température et de pression à la surface de la Terre compatibles avec la présence et la persistance d'eau liquide, deux conditions essentielles à la vie.
- La masse de la Terre lui permet de retenir à sa périphérie une atmosphère épaisse.



1 Les facteurs qui conditionnent la vie sur Terre.

La nature du vivant

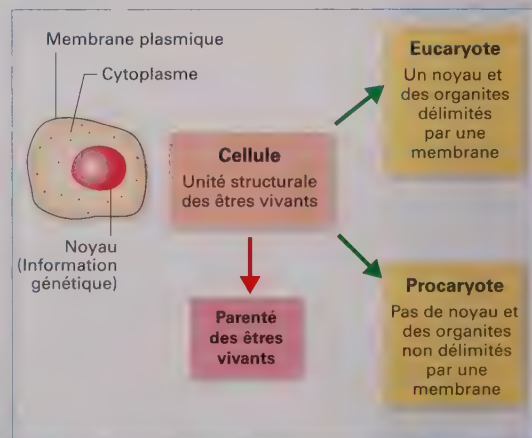
- Les êtres vivants sont constitués majoritairement d'eau. Ils comportent aussi des sels minéraux et des substances organiques : glucides et lipides comportant C, H et O ; protides et acides nucléiques comportant en plus l'élément N.



2 Constitution chimique du vivant.

- Les êtres vivants sont tous constitués de cellule(s). Une cellule est un espace délimité par une membrane plasmique contenant du cytoplasme. On distingue deux grands types de cellules :

- les cellules eucaryotes comportent en général un noyau et d'autres organites délimités par une membrane ;
- les cellules procaryotes ne possèdent pas de noyau et leurs organites ne sont pas délimités par une membrane.

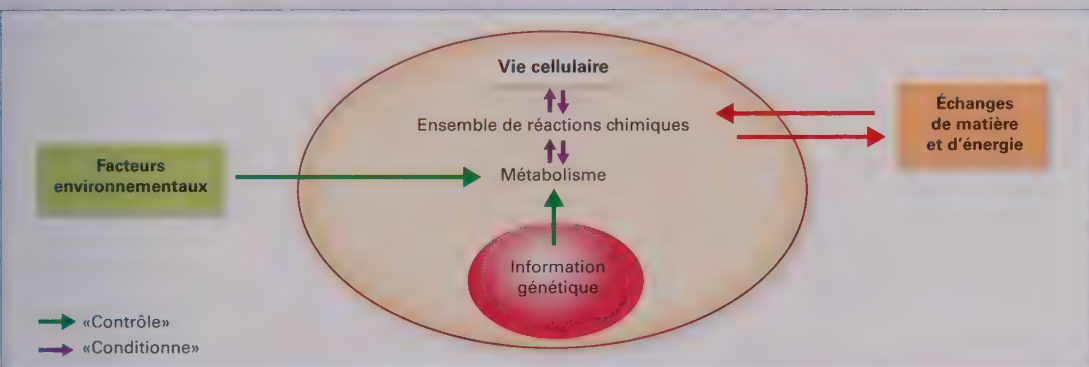


3 Organisation du vivant à l'échelle cellulaire.

vivant : une planète habitée

● La vie des cellules repose sur des réactions chimiques dont l'ensemble constitue le métabolisme cellulaire. Celui-ci s'accompagne d'échanges de matière et d'énergie entre la cellule et son environnement. Le fonctionnement cellulaire dépend à la fois de l'information génétique et de facteurs environnementaux.

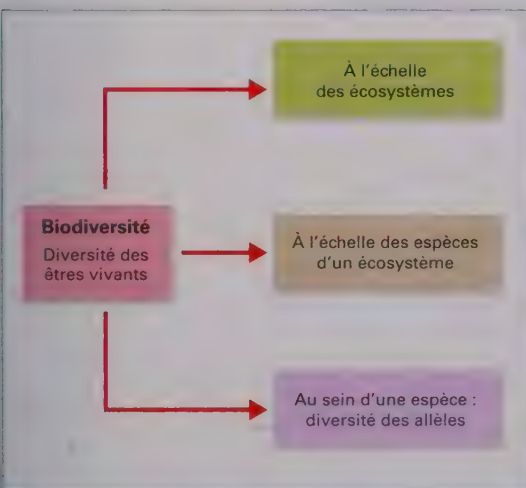
● L'ADN est une molécule universelle en forme de double hélice constituée d'un assemblage de nucléotides. Elle est le support de l'information génétique inscrite dans cette molécule sous la forme d'un message codé, la séquence des nucléotides.



4 Métabolisme cellulaire et son contrôle.

La biodiversité, résultat et étape d'une évolution

● La diversité du vivant ou biodiversité peut être envisagée à trois niveaux : diversité des écosystèmes, diversité des espèces et diversité génétique au sein d'une espèce (diversité des allèles).



5 Biodiversité envisagée à plusieurs échelles.

● L'évolution désigne le fait que les espèces ne sont pas immuables et se transforment au cours du temps. La parenté des divers êtres vivants est attestée par leur unité chimique commune et leur unité structurale.

● Les mutations créent de nouveaux allèles (variabilité de la molécule d'ADN). La dérive génétique (modification aléatoire de la diversité des allèles) et la sélection naturelle (avantage sélectif conféré par certains allèles dans un contexte donné) contribuent à la spéciation, apparition de nouvelles espèces.



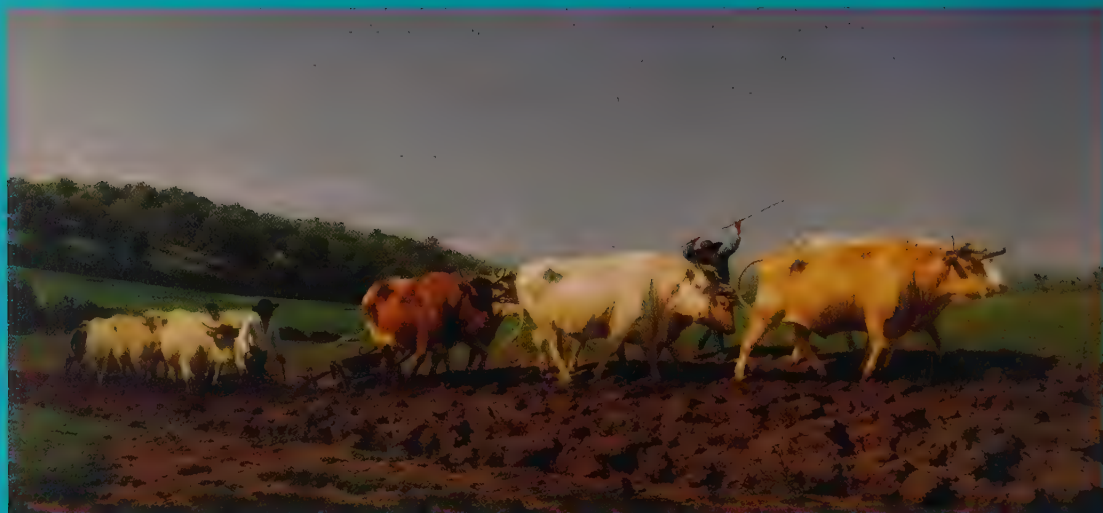
6 Deux moteurs de l'évolution.



✚ Le soleil, source d'énergie.

... Sciences et arts Le Soleil permet aux végétaux de croître et de nourrir les Hommes. Quelle que soit la civilisation, le pays, le Soleil a toujours été vénéré en tant que source de vie. L'invention de la photographie en 1837 bouleversa la peinture. Les impressionnistes privilégient la représentation des impressions fugitives des choses plutôt que celle de leur aspect réaliste. Ils n'hésitent pas à employer des couleurs vives et jouent sur la lumière. Ici, le mariage des tons pourpres et or rend la magie du moment.

Jean Fils (1821-1911), *Coucher de soleil sur la plaine*, huile sur toile (musée Magasin, Dijon).



✚ Le travail de labour, qui prépare le sol avant les semences.

... Sciences et arts « Un hymne au travail des champs ». Rosa Bonheur aimait particulièrement représenter les scènes de la vie rurale, notamment animalières. Le *Labourage nivernais*, qui a fait la célébrité de l'artiste, apporte la preuve de l'implantation de la race charolaise (boeufs de robe blanche) dans le Jévre de 1849. Les boeufs roux sont vraisemblablement de race normande, aujourd'hui disparue. Rosa Bonheur est une figure du féminisme du *xix*^e siècle. À son époque, les femmes n'étaient pas admises aux Beaux Arts, et elles ne portaient pas de pantalon. Mais elle obtint de la police un permis de se « travestir en homme » afin d'être plus libre d'exercer son art. L'impératrice Eugénie lui remit la Légion d'honneur en 1876, année où les femmes étaient enfin admises aux Beaux Arts. Rosa Bonheur (1822-1898), *Labourage nivernais*, dit aussi *Le Sarrage*, 1849, huile sur toile (musée d'Orsay, Paris).

Énergie, sol

CHAPITRE 5 Conversion de l'énergie solaire

CHAPITRE 6 Ressources énergétiques et enjeux planétaires

CHAPITRE 7 Culture des sols et concurrence avec la biodiversité

CHAPITRE 8 Le sol : une ressource fragile



L'irrigation des terres.

Sciences et arts Irrigation dans l'Égypte antique. Cette peinture de la tombe de Senedjem montre la disposition des canaux pour l'irrigation artificielle des champs (le Nil principal est en bas). Sur la première bande de terrain, en bordure du fleuve, s'étale un jardin de fleurs où poussent bleuets, mandragores et caquellets. La deuxième bande est un verger avec des figuiers-sycomores, des palmiers dattiers et des palmiers doum. Sur la troisième bande sont représentées une scène d'arrachage du lin et une scène de labour. La quatrième bande est consacrée à la culture de céréales.

Départ de la tombe de Senedjem. Troisième bande.
26^e Dynastie égyptienne (Détail Medinet, Thèbes, Égypte).



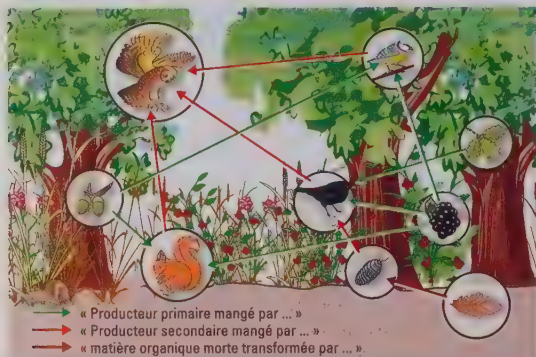
La récolte.

Sciences et arts La scène dépeint un couple de paysans se reposant auprès d'une meule de foin, au cours d'une journée de travail (marquée par la présence des faucilles). En arrière-plan, une charrette et des bœufs déterminent la profondeur et la perspective. Alors que Munch, le créateur de la scène initiale, est un peintre réaliste, van Gogh traduit la scène dans une langue intérieure (on peut le considérer comme un impressionniste). Par ces tons chauds et ses touches nerveuses, la toile dégage une sensation de sérénité. Vincent van Gogh (1853-1890), *La Moissonneuse ou La Sècheresse* (d'après Munch), 1889-1890, huile sur toile (musée d'Orsay, Paris).

THÈME 2

Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol

1 Les transferts de matière au sein d'un écosystème.



Un réseau trophique forestier.

L'écosystème est l'ensemble constitué par l'environnement géologique, atmosphérique (biotope) et les êtres vivants qui le peuplent. Dans cet écosystème se développent des relations alimentaires (réseau trophique) et donc des transferts de matière entre les êtres vivants.

Questions

- 1 Décrire les relations entre les organismes de cet écosystème forestier.
- 2 Montrer l'importance des producteurs primaires au sein des réseaux trophiques.

2 Exploitation des ressources alimentaires et développement durable.



Surpêche du thon rouge.

Questions

- 3 Expliquer comment l'exploitation des ressources alimentaires par l'Homme conduit à une baisse de la biodiversité.

3 Les conditions de la production végétale.

La production végétale chez le tournesol peut être estimée en mesurant la masse d'un plant de tournesol.

	Culture témoin	Culture couverte à partir du 15 ^e jour
Énergie lumineuse reçue (en % du témoin)	100 %	60 %
Masse d'un plant entier à maturité	150 g	65 g

Jour	5 ^e	10 ^e	15 ^e	20 ^e	25 ^e	30 ^e
Masse d'un plant Teneur en CO ₂ élevée (1 000 ppm)	6 g	8,5 g	18 g	23 g	39 g	64 g
Masse d'un plant Teneur en CO ₂ faible (400 ppm)	4 g	5,4 g	10 g	16 g	25 g	35 g

b. Variations de la masse d'un plant de tournesol en fonction de la concentration de CO₂.

Des tomates de même variété sont cultivées dans deux serres dont l'air est plus ou moins enrichi en CO₂.

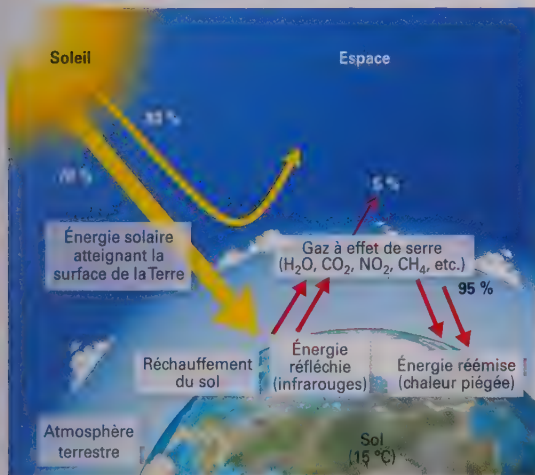
a. Variations de la masse d'un plant de tournesol en fonction de la lumière.

Une culture de tournesol est soumise à une réduction d'éclairement par ombrage artificiel au moyen d'un filet placé à 60 cm au-dessus de la culture.

Questions

- 4 Mobiliser ses connaissances pour justifier l'affirmation suivante : « Les végétaux sont des producteurs de matière organique. »
- 5 À l'aide des documents et de vos connaissances, indiquer les facteurs essentiels contrôlant la production végétale.

4 Exploitation des sources d'énergie et ses conséquences.



Amplification de l'effet de serre sous l'action des gaz à effet de serre rejetés par l'Homme.

Questions

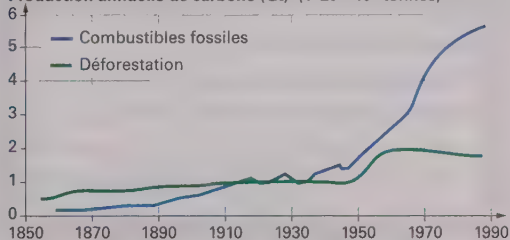
- 6 Quelles sont les conséquences sur le climat de la libération par l'Homme des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ?

5 L'exploitation et la consommation des combustibles fossiles.



a. Pollution des côtes bretonnes par du pétrole lors de l'échouage de l'Erika en 1999.

Production annuelle de carbone (Gt) (1 Gt = 10^9 tonnes)



b. Émissions annuelles de CO_2 dans l'atmosphère.

Questions

- 7 Rappeler l'intérêt pour l'Homme d'exploiter les combustibles fossiles.
8 Présenter les conséquences négatives de l'exploitation et de la consommation des combustibles fossiles.

MÉMO

➤ Tous les êtres vivants d'un écosystème ont besoin de matière et d'énergie pour croître et se développer. Les producteurs primaires tirent l'énergie du soleil et synthétisent leur propre matière organique qui sert à alimenter directement ou indirectement les consommateurs de l'écosystème.

➤ Tout organisme vivant produit sa propre matière à partir de celle qu'il prélève dans le milieu.

➤ L'exploitation intensive des ressources alimentaires provoque la disparition de certaines espèces et des déséquilibres au sein des milieux de vie.

➤ Le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont des sources d'énergie fossile. Ces matériaux du sous-sol

formés en plusieurs millions d'années ne sont pas renouvelables à l'échelle des temps de l'humanité.

➤ Leur utilisation a des conséquences néfastes sur l'environnement. Le CO_2 libéré par la combustion de ces énergies amplifie l'effet de serre entraînant le réchauffement de la planète.

➤ L'Homme cultive des végétaux pour se procurer des aliments qui répondent à ses besoins.

➤ Le sol abrite de très nombreux êtres vivants qui transforment les restes d'organismes vivants en matière minérale : ce sont les décomposeurs.

➤ L'énergie solaire diffuse par son rayonnement à travers l'atmosphère terrestre. Elle est répartie et utilisée de manière inégale à la surface de la Terre.

À l'origine de la photosynthèse, elle initie les chaînes alimentaires. L'énergie solaire est convertie en différentes formes d'énergie. Elle peut être stockée sous forme de ressource énergétique ou être à l'origine des déplacements des enveloppes fluides.



1

Énergie lumineuse captée par les végétaux.

Au cours de leur vie, les êtres vivants croissent et se reproduisent. Ils fabriquent leur propre matière vivante, ce qui nécessite un apport d'énergie. L'énergie solaire est captée par les végétaux chlorophylliens qui réalisent la photosynthèse. Ainsi, l'énergie du Soleil est convertie en matière vivante, organique, qui représente une énergie chimique.

Quelle masse d'êtres vivants (biomasse) est ainsi élaborée chaque année ?

'énergie solaire



2

Manifestations des diverses énergies.

Il existe plusieurs formes d'énergie : lumineuse, chimique, thermique, électrique, mécanique. Aucune forme d'énergie ne peut être créée *de novo*. Elle provient obligatoirement de la conversion d'une forme d'énergie préexistante.

L'énergie mécanique d'une automobile qui circule provient de l'énergie thermique convertie par les « organes » mécaniques du véhicule. Cette même énergie thermique est obtenue lors de la réaction de combustion du carburant (énergie chimique) qui est convertie en chaleur.

Quelle conversion est à l'origine de l'énergie représentée par le carburant ?



3

Les vagues : une manifestation de l'énergie mécanique.

Les enveloppes fluides de la Terre (hydrosphère et atmosphère) sont animées de courants, tels les vents, la houle, les courants océaniques... Ces mouvements sont la manifestation d'une énergie mécanique.

Quelles formes d'énergies sont converties pour produire ces mouvements ?

Photosynthèse à l'échelle du végétal

Nous savons que l'énergie lumineuse permet la croissance des végétaux. Les végétaux croissent en fabriquant leur propre matière organique.



Quels sont les réactifs et les produits de la photosynthèse ?

OBJECTIFS

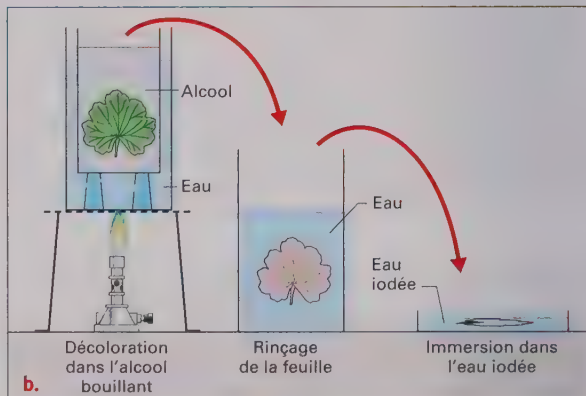
- **Connaissances** : établir à l'aide d'arguments expérimentaux le bilan de la photosynthèse à l'échelle du végétal.
- **Capacités** : manipuler d'après un protocole expérimental.



Des conditions nécessaires à la photosynthèse

Protocole

1. Choisir un pélargonium à feuilles panachées (présentant des plages dépourvues de chlorophylle).
2. Placer un cache partiel sur quelques feuilles.
3. Exposer le pélargonium à la lumière pendant plusieurs heures (environ 10 heures).
4. Prélever une feuille sur laquelle un cache a été posé. La tremper dans l'alcool bouillant pendant 15 minutes jusqu'à décoloration de la feuille. Prendre d'importantes précautions en veillant à ne pas enflammer l'alcool.
5. Rincer la feuille et appliquer sur sa surface de l'eau iodée.



1 Énergie lumineuse et photosynthèse*

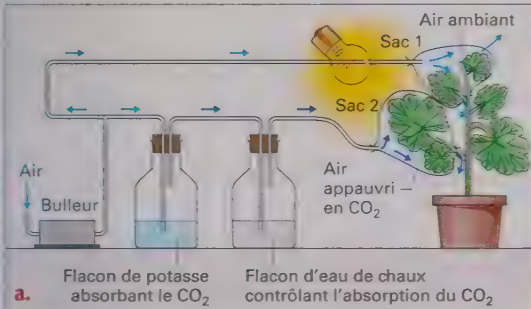
- a. Les feuilles panachées possèdent des parties chlorophylliennes et des parties dépourvues de chlorophylle. Sur une feuille, on pose un cache, puis la plante est éclairée.
- b. Traitement de la feuille panachée en partie éclairée.
- c. Résultat du traitement à l'eau iodée. L'eau iodée révèle la présence d'amidon par une couleur bleu-noir. L'amidon est un glucide (composé organique).

B Un réactif de la photosynthèse

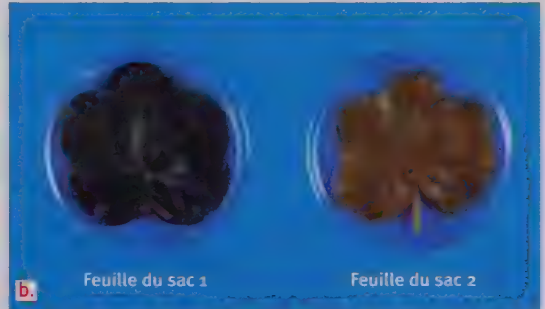
Protocole

- Des feuilles de pélagonium sont placées dans deux sacs transparents où l'air est mis en circulation grâce à une pompe d'aquarium.
- L'air ambiant circule dans le sac 1. On débarrasse l'air ambiant du sac 2 de son CO_2 par barbotage dans une solution de potasse.

- Le montage est éclairé de manière uniforme pendant une journée, puis on prélève une feuille de chaque sac.
- On les décolore à l'alcool bouillant, puis on les traite à l'eau iodée qui colore l'amidon en bleu-noir.



- Dioxyde de carbone et photosynthèse.**
 - Dispositif expérimental.
 - Résultats après traitement à l'eau iodée.

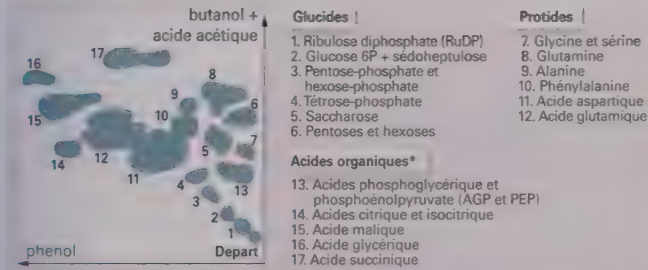


VOCABULAIRE

Photosynthèse : synthèse de constituants organiques en présence de lumière par les végétaux chlorophylliens.

C Les produits de la photosynthèse

- Chromatographie de feuilles chlorophylliennes exposées au CO_2 radioactif.**



- Protocole expérimental

De jeunes plants d'orge sont placés dans une enceinte transparente contenant du CO_2 radioactif, marqué au ^{14}C . Les plants sont éclairés. Au bout de 8 minutes, on prélève des feuilles et on les traite en vue de réaliser une chromatographie bidimensionnelle.

- Résultats de la chromatographie. Les divers composés radioactifs sont séparés et apparaissent sous forme de taches numérotées de 1 à 17. Chaque tache représente une substance qui est identifiée. Aucun composé radioactif n'est révélé si les plants sont maintenus à l'obscurité.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Justifier la répartition de la couleur noire sur la feuille panachée.

EXPLOITATION

- Décrire** les résultats obtenus lors de l'expérience du document 1. **Énumérer** les conditions indispensables à la photosynthèse (doc.1).
- Décrire** les résultats obtenus lors de l'expérience du document 2. Sachant que l'amidon est un composé organique, quelle conclusion peut-on tirer de ces résultats ?
- Décrire** les résultats obtenus lors de l'expérience du document 3. Que conclure ?
- À partir des résultats expérimentaux (doc. 1, 2 et 3), **écrire** une réaction chimique de la photosynthèse. On précise que l'eau est également un réactif et le dioxygène un produit de la photosynthèse.

Photosynthèse à l'échelle de la planète

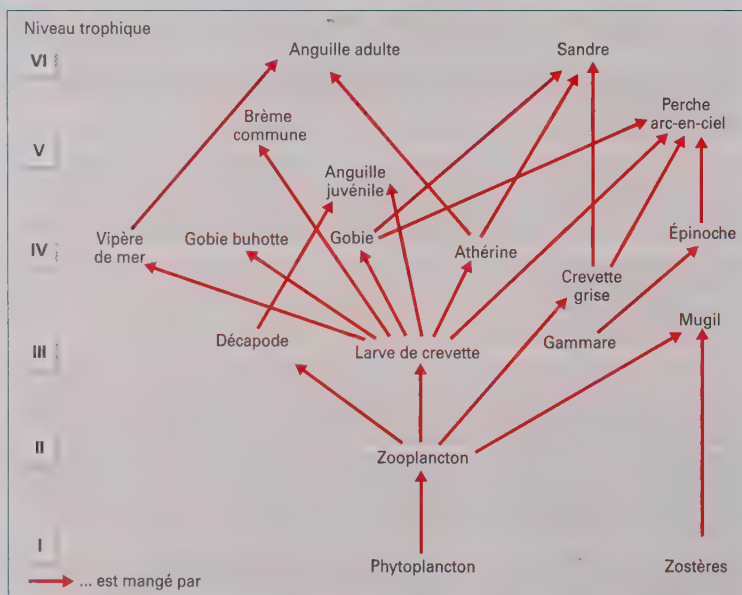
Nous savons que la photosynthèse permet, à partir d'eau, de carbone minéral, de sels minéraux et de lumière, la fabrication de l'ensemble des composés organiques.

Quelle est l'importance de la photosynthèse à l'échelle des écosystèmes ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : la photosynthèse permet l'entrée dans les réseaux trophiques de matière minérale et d'énergie.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Importance des producteurs primaires dans les réseaux trophiques



1 Réseau trophique de l'étang de Vaccarès (réserve naturelle de Camargue).

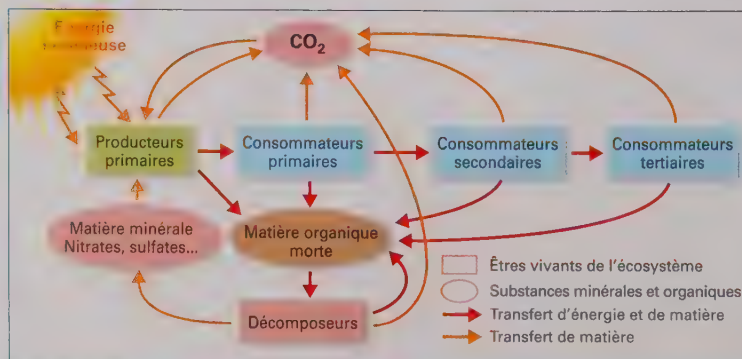
Phytoplancton : organismes chlorophylliens microscopiques vivant en pleine eau.

Zostères : plantes à fleurs aquatiques.

Zooplancton : organismes non chlorophylliens, microscopiques vivant en pleine eau.

Crustacés : Gammare, Crevette, Décapode.

Poissons : Mulet, Épinoche, Gobie, Gobie buhotte, Athérine, Vipère de mer, Anguille, Brème, Perche, Sandre.



2 Organisation fonctionnelle d'un écosystème.

Les différents êtres vivants producteurs primaires, les consommateurs primaires, secondaires, tertiaires... et les décomposeurs représentent chacun un niveau trophique. Les décomposeurs sont constitués de micro-organismes qui transforment la matière organique morte en substances minérales (processus de minéralisation). Il existe aussi des consommateurs de rang 4, 5, etc.

B

Transferts de matière et d'énergie à l'échelle de la planète

Décomposeurs
5 g/m²

Consommateurs III 1,5 g/m²

Consommateurs II 11 g/m²

Consommateurs I 37 g/m²

Producteurs primaires 809 g/m²

3 Une pyramide des biomasses.

La biomasse désigne la masse totale des organismes d'un écosystème. Elle est souvent exprimée en unité de masse par unité de surface. La pyramide des biomasses représente pour chaque niveau trophique la masse sèche des organismes (masse totale des organismes à laquelle on soustrait la masse de l'eau qu'ils contiennent).

C

Inégale productivité des divers écosystèmes de la planète

Écosystème	Surface (10 ⁶ km ²)	Productivité primaire nette (matière sèche)		Biomasse (poids sec)	
		Moyenne (g/m ² /an)	Total mondial (10 ⁹ t/an)	Moyenne (kg/m ²)	Total mondial (10 ⁹ t)
Forêt dense équatoriale	17,0	2 200	37,4	45	765
Forêt tropicale caducifoliée ⁽¹⁾	7,5	1 600	12,0	35	260
Forêt tempérée sempervirente ⁽²⁾	5,0	1 300	6,5	35	275
Forêt tempérée caducifoliée	7,0	1 200	8,4	30	210
Forêt boréale	12,0	800	9,6	20	240
Maquis	8,5	700	9,6	6	50
Savanes	15,0	900	13,5	4	60
Formations herbacées tempérées	9,0	600	5,4	1,6	14
Toundras et zones alpines	8,0	140	1,1	0,6	5
Steppes désertiques	18,0	90	1,6	0,7	13
Déserts très arides, glaciers et zones rocheuses	24,0	3	0,07	0,02	0,5
Zones cultivées	14,0	650	9,1	1	14
Marécages	2,0	3 000	6,0	15	30
Lacs et cours d'eau	2,0	400	0,8	0,02	0,05
Total des continents	149	782	117,5	12,2	1 837
Plein océan	332,0	125	41,5	0,003	1
Zones d'upwelling ⁽³⁾	0,4	500	0,2	0,02	0,008
Plateau continental	26,6	360	6,6	0,001	0,27
Herbiers et récifs	0,6	2 500	1,6	2	1,2
Estuaires	1,4	1 500	2,1	1	1,4
Total des océans	361	155	55,0	0,01	3,9
Total pour le globe	510	336	172,5	3,6	1 841

(1) Qualifie une plante dont les feuilles tombent chaque année (exemple le platane). (2) Qualifie un arbre ou un arbuste dont les feuilles vertes persistent plus d'une année et ne tombent pas toutes en même temps.

(3) Courant marin qui entraîne une remontée de matière minérale à proximité des côtes.

4 Productivité primaire totale nette et biomasse végétale des principales formations de la biosphère.

La productivité brute correspond à la quantité totale de matière organique produite par photosynthèse par unité de surface et de temps dans un écosystème donné.

La productivité nette correspond à la productivité brute à laquelle on soustrait la quantité de matière vivante dégradée par la respiration.

CRITÈRES DE RÉUSSITE

2. Identifier les niveaux trophiques en vous aidant des flèches.

5. Identifier les variations importantes de la productivité primaire en fonction des latitudes.

EXPLOITATION

1. Déterminer le rôle essentiel joué par le phytoplancton et les zostères (doc. 1).

2. Construire un tableau simplifié représentatif de la structure du réseau trophique du lac en indiquant pour chaque niveau trophique le type d'organisme (doc. 1 et 2).

3. Proposer une définition des termes qui désignent chacun un niveau trophique : producteurs primaires, consommateurs I, II, III, et décomposeurs (doc. 1 et 2).

4. Analyser le document 4. À partir des colonnes « productivité nette » et « biomasse » indiquer comment on passe de la valeur moyenne au total mondial.

5. Comparer la productivité nette moyenne totale des océans et des continents. Comparer la productivité nette des différents écosystèmes continentaux.

6. Comparer la productivité nette des zones d'upwelling et de plein océan. Comment peut-on expliquer la faible productivité des zones de plein océan ?

Fossilisation de l'énergie solaire

Nous savons qu'il existe une circulation de la matière et de l'énergie au sein des écosystèmes. Les décomposeurs assurent la transformation de la majeure partie de la matière organique morte en matière minérale.



Comment l'énergie solaire est-elle convertie en combustibles fossiles ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : expliquer comment une faible partie de la biomasse échappe à la décomposition et se transforme en combustibles fossiles.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Des ressources énergétiques

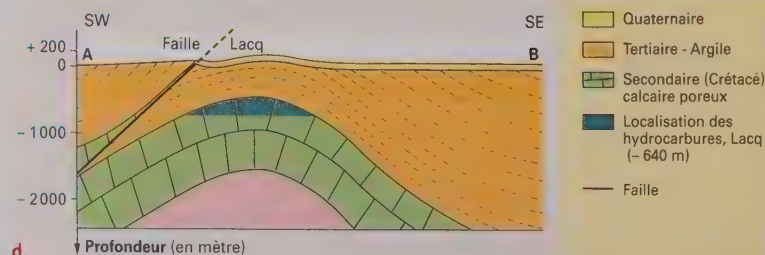
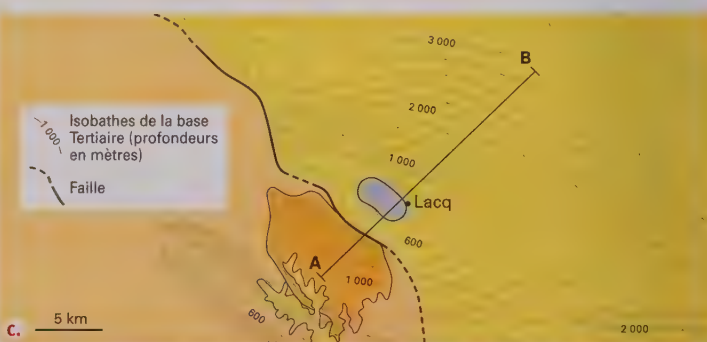
1 Un gisement de combustibles fossiles dans la région de Lacq.

a. Les caractéristiques du gisement.

Un gisement (lieu où l'on trouve une substance) de combustibles fossiles est situé dans la région de Lacq (Pyrénées-Atlantiques). Les roches carbonées (pétrole, gaz) qu'il recèle constituent une réserve d'énergie : une ressource que l'Homme exploite. Un niveau pétrolifère a été repéré au sein des formations géologiques, puis exploité. Ce gisement produit aujourd'hui principalement du gaz. La position du réservoir pétrolifère est situé dans des terrains du Crétacé.

Les isobathes (**doc. c**) de la base du Tertiaire (courbes joignant les points d'une surface situés à une même profondeur) permettent de mettre en évidence une caractéristique géologique associée à un gisement pétrolifère simple.

La coupe géologique situe la position verticale du réservoir pétrolifère (zone en bleu). On y trouve successivement, de bas en haut, de l'eau, du pétrole et du gaz.



- b.** Carte de localisation du gisement.
- c.** Carte géologique de Pau, région de Lacq (extrait simplifié).
- d.** Coupe géologique correspondant au trait de coupe AB situé sur la carte (**doc. c**).

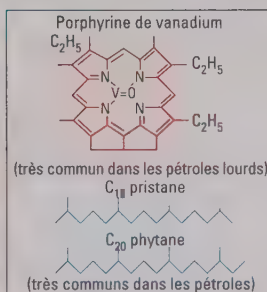
B L'origine biologique du pétrole



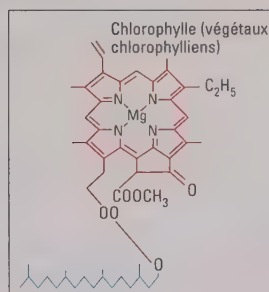
2 Le pétrole et son origine.



a. Carotte de roche sédimentaire contenant du pétrole (roche réservoir).



b. Molécules couramment trouvées dans le pétrole.



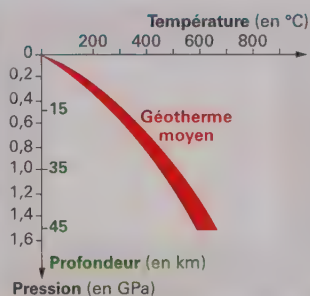
c. Molécule de chlorophylle.

C Transformation de la biomasse en combustibles fossiles

	Plein océan	Zone côtière	
		Sans upwelling	Avec upwelling
Production primaire	50	150	250
Production exportée sur le fond	0,5 (à 5 000 m)	15 (à 250 m)	30 (à 250 m)
Carbone organique accumulé dans les sédiments	0,01	3	13

3 Production primaire et matière organique accumulée dans les sédiments.

On compare la production primaire dans les eaux superficielles avec les quantités de matière organique exportée sur le fond et de matière organique accumulée dans les sédiments de différents domaines de l'océan. (Les valeurs sont exprimées en gramme de carbone organique $\cdot m^{-2} \cdot \text{année}^{-1}$.)



4 Géotherme : courbe représentant l'évolution de la température en fonction de la profondeur.

EXPLOITATION

1. **Décrire** la localisation des combustibles fossiles (**doc. 1.d**). Expliquer à l'aide d'un paramètre physique approprié la succession verticale : eau, pétrole, gaz. Quels rôles associer au calcaire et à l'argile ? On précise que, dans les roches, une poussée d'Archimède s'exerce.

2. Quel est l'élément majoritaire qui constitue les molécules trouvées dans le pétrole (**doc. 2.b**) ? Dans quelle catégorie chimique les placer ? Justifier le terme d'**hydrocarbures** souvent employé pour désigner ces combustibles.

3. Comparer les molécules du **doc. 2.b** à celle du **doc. 2.c**. Quelle(s) hypothèse(s) peut-on formuler à l'issue de cette comparaison quant à l'origine du pétrole ?

4. Les roches réservoirs des pétroles (calcaires, sables, grès) ne contiennent en général initialement que des quantités infimes de matière organique. Comment **expliquer** la concentration de pétrole à l'origine du gisement ?

5. **Décrire** l'évolution de la quantité de matière organique de la surface jusqu'aux sédiments. **Décrire** l'évolution de la production primaire en fonction des domaines océaniques (**doc. 3**). **Expliquer** cette évolution.

6. Quel facteur est essentiel pour qu'un dépôt conséquent de matière organique intervienne ?

7. La production d'huile a lieu dans un domaine de température compris entre 70 °C et 100 °C. À quel intervalle de profondeur ce domaine (qualifié de fenêtre à huile) correspond-il (**doc. 4**) ?

8. **Résumer sous la forme d'un tableau** les facteurs biologiques, physico-chimiques et géologiques qui conditionnent la formation des combustibles fossiles.

L'énergie solaire, moteur des enveloppes fluides

Nous savons que l'énergie solaire constitue l'unique source d'énergie de l'écosphère. Une faible part de cette énergie (1 %) est utilisée par la photosynthèse.



Comment l'énergie solaire permet-elle la mise en mouvement des enveloppes fluides externes de la planète ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre l'effet de l'énergie solaire sur les circulations des enveloppes fluides (hydrosphère, atmosphère).
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur.



Origine des vents



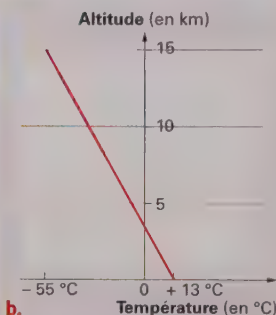
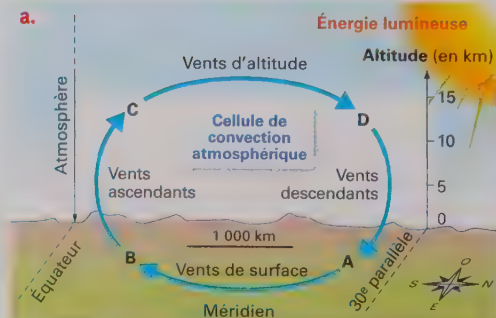
1 Pression atmosphérique et direction générale des vents.

La pression atmosphérique est exprimée en hectopascal (hPa). Ces mesures correspondent à celles du 17 mars 2010. Les lignes relient les points d'égale altitude à laquelle se mesure une pression donnée.



2 Montgolfière en cours d'ascension.

L'air chaud injecté dans l'enveloppe de la montgolfière est moins dense que l'air environnant.

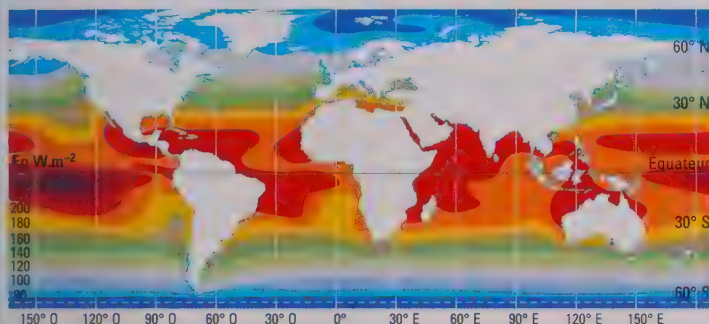


3 Courants atmosphériques

a. Schéma d'une cellule de convection atmosphérique. La convection désigne le déplacement en masse d'un fluide. Ce document illustre la direction globale des circulations atmosphériques à grande échelle (1 000 km ou plus) selon un méridien.

b. Température de l'atmosphère en fonction de l'altitude (valeurs moyennes).

B Une énergie solaire inégalement répartie



Protocole

1. Éclairer un globe terrestre par un faisceau de lumière parallèle qui forme un angle de 23 degrés avec l'équateur du globe.
2. Déplacer le faisceau de lumière de l'équateur aux pôles selon un méridien.
3. Reporter sur un papier calque les contours de l'aire éclairée aux altitudes retenues. Évaluer chacune de ces aires à l'aide du logiciel *Mesurim* (voir fiche page 260 et tutoriel [mesurim](#)).

5 Relation entre énergie reçue en surface et latitudes.

Réalisation d'un modèle analogique.

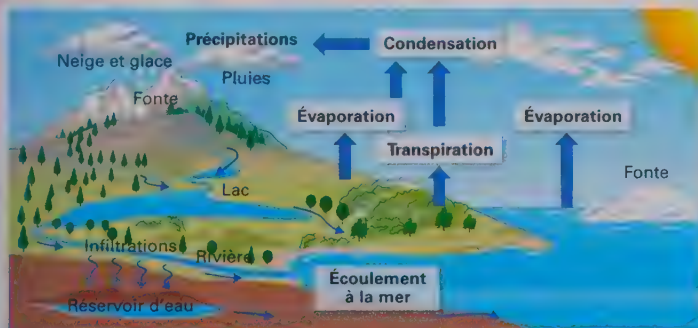


a. Un faisceau lumineux éclaire le globe terrestre à la latitude 0° (équateur).



b. Un faisceau lumineux éclaire le globe terrestre à la latitude 40° Nord.

C Énergie solaire et cycle de l'eau



6 Influence de l'énergie solaire sur le cycle de l'eau.

EXPLOITATION

1. Proposer une hypothèse expliquant la direction des vents (doc. 1).
2. Expliquer l'origine des vents ascendants et descendants (doc. 2, 3 et 4).
3. Expliquer la répartition de l'énergie selon la surface des océans (doc. 4 et 5).
4. Redessiner la cellule de convection (doc. 3). Indiquer au niveau

des points A, B, C, et D les zones de basse pression (BP) et de haute pression (HP) engendrées par les vents verticaux.

5. Proposer une hypothèse relative au moteur des vents horizontaux (doc. 1 à 3).

6. Le document 6 présente les grandes lignes du cycle de l'eau. Indiquer à quel(s) niveau(x) et de quelle façon l'énergie solaire intervient dans ce cycle.

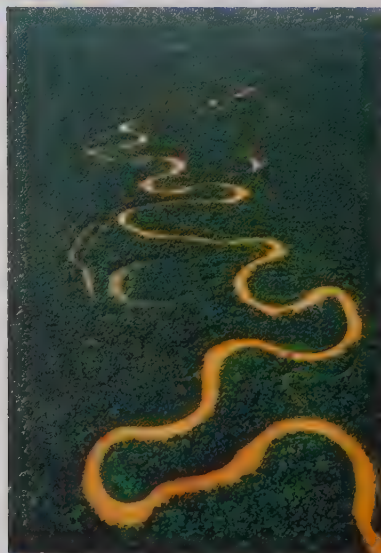
1 La photosynthèse à l'échelle du végétal chlorophyllien



1 La photosynthèse est réalisée par les végétaux chlorophylliens. Elle permet de transformer le carbone minéral en carbone organique en présence de lumière.

- La **photosynthèse** réalisée par les végétaux chlorophylliens est un processus qui permet de transformer le carbone minéral du dioxyde de carbone présent dans l'air et dans l'eau (CO_2 , HCO_3^- ...) en carbone organique constituant la matière vivante.
- Les **substances organiques** représentent une **énergie chimique**. Leur synthèse nécessite un apport d'énergie externe, sous forme d'énergie lumineuse captée et convertie en énergie chimique (doc. 1) par les **pigments chlorophylliens**.
- Si les premiers composés formés sont des glucides (**activité 1**), c'est en fait l'ensemble des composés organiques de la plante qui sont issus de la photosynthèse. Parallèlement, la plante produit du dioxygène dont le rejet associé à l'absorption de dioxyde de carbone constitue les **échanges gazeux chlorophylliens**.

2 La photosynthèse à l'échelle de la biosphère



2 L'Amazonie (Amérique du Sud) est une vaste plaine traversée par l'Amazone, couverte par la forêt amazonienne sur 4 500 000 km².

- L'ensemble des écosystèmes naturels de la planète constitue la **biosphère**. Au sein des écosystèmes, les êtres vivants établissent des relations de « mangeur à mangé » qualifiés de **liens trophiques**. Ils sont représentés par des **chaînes alimentaires** dont l'ensemble, à l'échelle d'un écosystème, forme un **réseau trophique** (**activité 2**).
- Les végétaux chlorophylliens (doc. 2) sont des êtres vivants **autotrophes**, c'est-à-dire capables de produire leur propre matière organique à partir de la matière minérale (eau, CO_2 , ions minéraux) et de l'énergie solaire par la **photosynthèse**. Ils représentent le premier maillon des chaînes alimentaires, ce sont les premiers producteurs de molécules organiques à l'origine des réseaux trophiques dont ils sont les **producteurs primaires**.
- Les animaux, les champignons et diverses bactéries, dépourvus de chlorophylle, sont **hétérotrophes**. Ils ne peuvent fabriquer leurs molécules organiques qu'à partir de molécules organiques préexistantes, d'origine animale ou végétale. Ils représentent les **consommateurs** qui se nourrissent de la matière vivante et les **décomposeurs** qui utilisent de la matière morte. Ces derniers assurent la transformation d'une grande partie de la matière organique morte en substances minérales qui peuvent être à nouveau absorbées par les producteurs primaires. Ils jouent donc un rôle essentiel dans le recyclage de la matière, condition du maintien de la vie (**activité 2**).
- La productivité primaire varie beaucoup à l'échelle de notre planète (**activité 2**). Celle des continents est deux fois plus élevée que celle des océans. À plus petite échelle, les plus faibles productivités sont celles de la haute mer, des déserts et des zones équatoriales marines ; les plus fortes sont celles des eaux subpolaires, des forêts équatoriales, des estuaires et des marécages. Les facteurs qui conditionnent le rendement de la photosynthèse (ensoleillement, température, pluviométrie, abondance des substances minérales) influencent directement la productivité.
- La **photosynthèse** est le processus fondamental qui permet l'entrée d'énergie et de matière minérale dans la biosphère. Le Soleil, qui constitue cette énergie, conditionne ainsi la vie sur Terre. Seul 1 % de l'énergie solaire est investi dans la photosynthèse.

3

La fossilisation de l'énergie solaire



3 Forêt luxuriante du Carbonifère.

● Les environnements à forte productivité (doc. 3) permettent d'accumuler de la matière organique. Un **enfouissement rapide**, sous une couche de sédiments terrigènes par exemple, permet de la soustraire à l'action des décomposeurs. Sa transformation en matière minérale est ainsi évitée. Un **kérogène initial** est ainsi formé : il s'agit de molécules organiques très complexes issues des premières transformations que subissent les substances organiques d'origine animale ou végétale (**activité 3**).

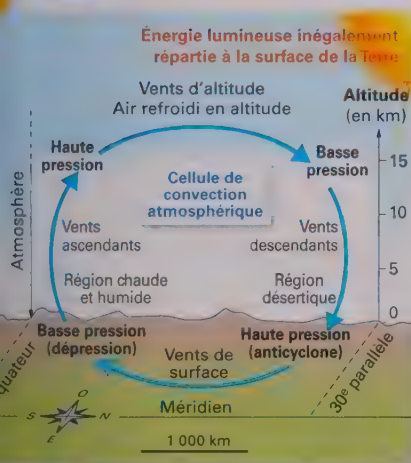
● L'enfouissement, associé à l'enfoncement du bassin sédimentaire, peut conduire à des conditions précises de **pression et température** favorables à la formation des divers charbons et des divers combustibles fossiles. Les **charbons** sont issus de la transformation de **déchets végétaux** souvent d'origine continentale (doc. 3). Les **pétroles** résultent d'une matière organique d'origine planctonique. ➡ (**Questions de sciences p. 168**)

● Les milieux favorables à l'accumulation de la matière organique sont les **milieux marins fermés**, estuaires des grands fleuves, milieux récifaux, les milieux lacustres et marécageux, les grands bassins fluviaux comme les deltas.

● Les roches carbonées issues de la transformation de biomasses anciennes constituent une ressource énergétique inégalement répartie dans le monde et limitée. Elles représentent une énergie solaire fossile dont la formation a pris des **millions d'années**.

4

L'énergie solaire, moteur des enveloppes fluides



4 Cellule de convection.

● Les enveloppes externes fluides de la planète Terre, **hydrosphère** et **atmosphère**, sont animées de **mouvements**, courants océaniques, vents, qui représentent une énergie mécanique.

● À grande échelle, selon un méridien, les masses atmosphériques en mouvement constituent une cellule de convection (doc. 4). On y distingue deux secteurs horizontaux (vents de surface et d'altitude) et deux branches, ascendante et descendante. Sur un méridien, trois cellules se succèdent ainsi de chaque côté de l'équateur en direction du pôle.

● Les **mouvements verticaux** sont dus à des différences de densité de l'air, elles-mêmes associées à des différences de température. Les **mouvements horizontaux** sont liés à des différences de pression.

● **L'énergie solaire** est inégalement répartie à la surface du globe. Une même surface reçoit plus d'énergie à l'équateur qu'aux pôles. L'air chaud, moins dense, s'élève. Une dépression est ainsi créée en surface. En altitude, l'air refroidit et devient plus dense. Il redescend selon deux branches de part et d'autre de l'équateur où il crée une zone de haute pression en surface. L'énergie solaire est convertie en une **énergie mécanique** (**activité 4**).

● Les courants océaniques de surface sont dus aux vents qui entraînent l'eau. Les courants océaniques profonds dépendent de différences de température.

● L'énergie solaire participe également au cycle de l'eau en conditionnant les processus d'évaporation et de condensation dépendant de la température (**activité 4**).

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Conversion de l'énergie solaire

La **photosynthèse** est un processus réalisé dans les parties chlorophylliennes des végétaux. L'**énergie solaire** captée par les pigments chlorophylliens permet la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone. Parallèlement du dioxygène est rejeté par la plante.

Les **écosystèmes** sont organisés en **chaînes alimentaires** dont le premier maillon est constitué par les producteurs primaires, végétaux chlorophylliens. Les consommateurs et les décomposeurs sont les autres acteurs des **réseaux trophiques**.

La photosynthèse permet, à l'échelle de la planète, l'**entrée de matière minérale et d'énergie** dans la biosphère.

Dans les environnements de forte productivité, une faible partie de la biomasse peut **échapper à la décomposition**. Elle se transforme alors très lentement (plusieurs millions d'années) en **combustibles fossiles** dont l'origine est attestée par les restes organiques qu'ils renferment. Ils représentent la **fossilisation d'une énergie solaire** émise au cours des temps géologiques et stockée au sein de roches sédimentaires carbonées.

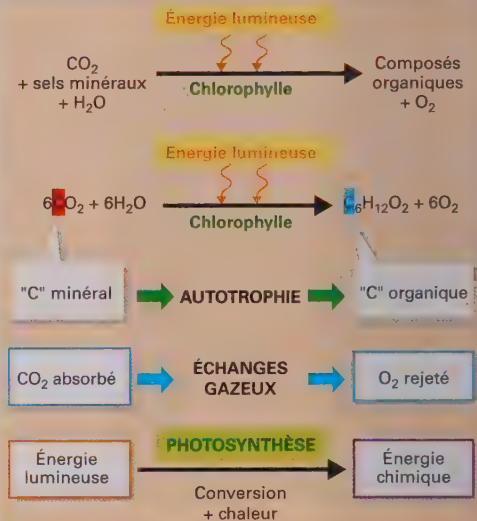
Seul 1 % de l'**énergie solaire** reçue à la surface de la Terre est utilisé dans la photosynthèse. Le reste, très inégalement réparti à la surface de la planète, chauffe l'air et l'eau. Les gradients de température et de pression qui en résultent sont à l'origine des **courants atmosphériques et océaniques**. L'énergie solaire est ainsi convertie en une **énergie mécanique**, moteur des enveloppes fluides externes (atmosphère et hydrosphère).

L'**énergie solaire** participe également au **cycle de l'eau** en provoquant l'évaporation de l'eau qui est à l'origine des nuages.

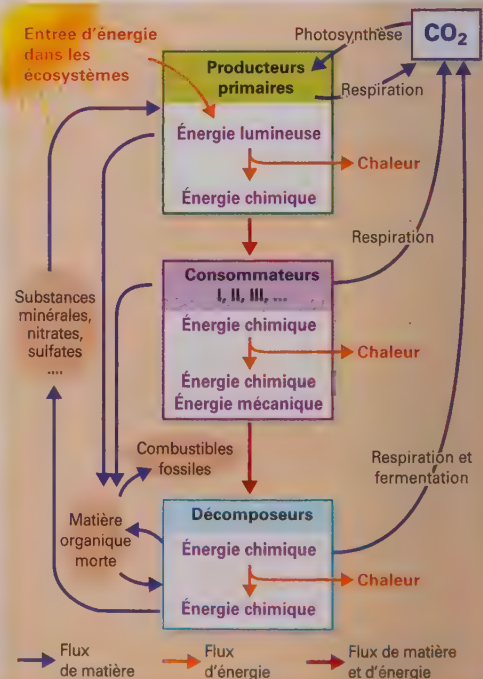
CAPACITÉS ET ATTITUDES

- Manipuler d'après un protocole expérimental.
- Pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur.
- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.

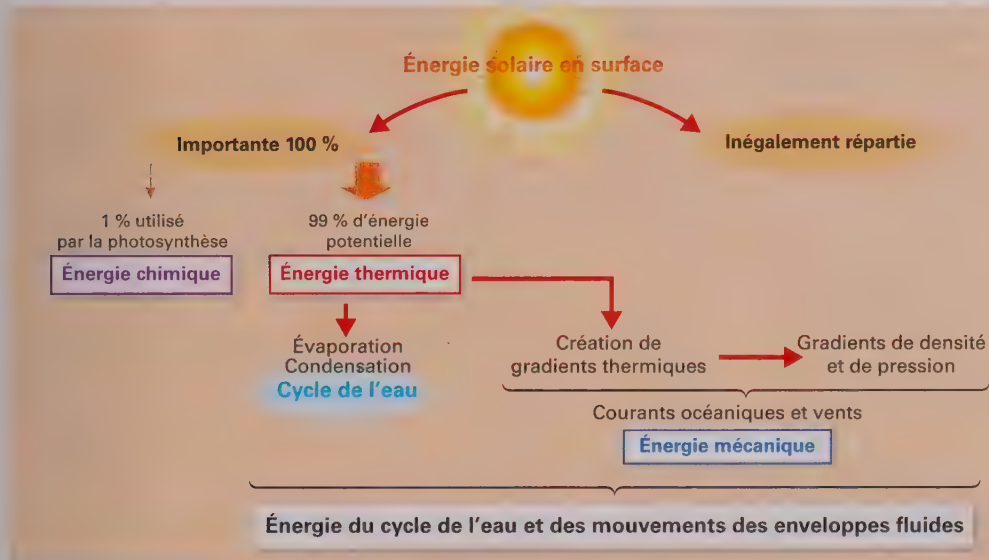
■ La photosynthèse



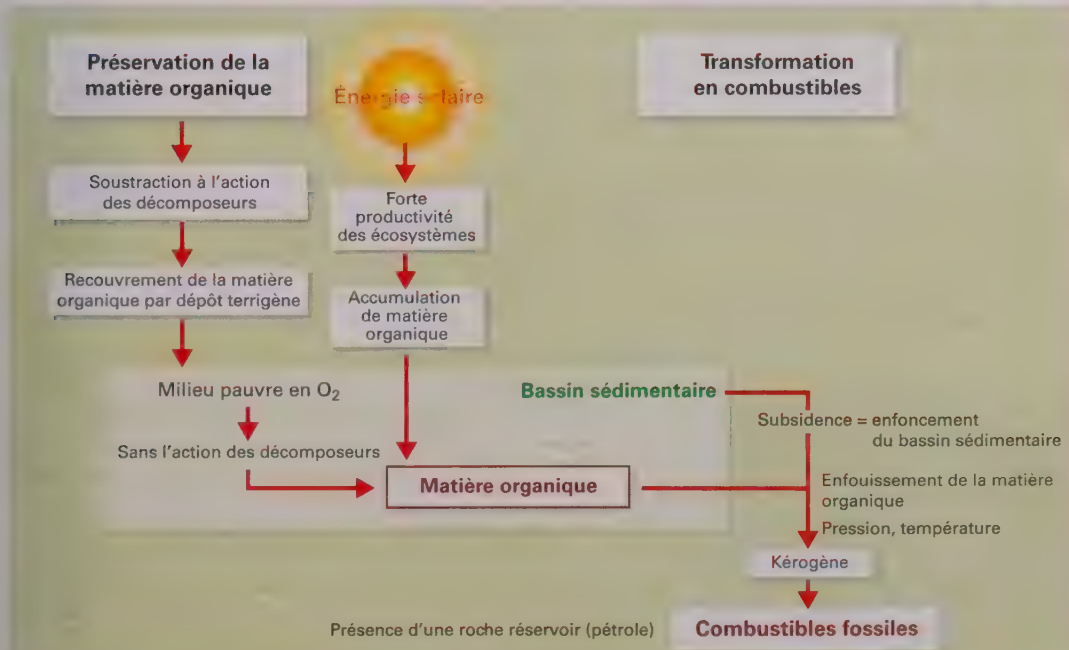
■ Flux de matière et d'énergie dans la biosphère



■ Énergie du cycle de l'eau et des mouvements des enveloppes fluides externes



■ Fossilisation de la matière organique à l'origine des combustibles



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

a. La photosynthèse permet, chez les végétaux chlorophylliens, la fabrication de la matière organique :

1. à partir d'eau et de CO_2 .
2. à partir d'eau, de CO_2 , en utilisant l'énergie solaire.
3. à partir d'eau, de sels minéraux, de CO_2 , en utilisant l'énergie solaire.

b. Les végétaux chlorophylliens constituent :

1. la productivité primaire.
2. la productivité secondaire.
3. les producteurs primaires.

c. Les combustibles fossiles se forment :

1. lentement.
2. progressivement.
3. rapidement.

d. L'énergie solaire est l'origine :

1. des mouvements des enveloppes fluides.
2. de la genèse des hydrocarbures.
3. de la photosynthèse.

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

a. Les animaux et les végétaux sont à l'origine de la productivité primaire.

b. Il existe un flux de matière et d'énergie entre les différents niveaux trophiques.

c. La formation de pétrole se fait dans des environnements de faible productivité et peu profonds.

d. La présence de restes organiques dans les combustibles fossiles montre qu'ils sont issus d'une biomasse.

e. Une grande partie de la biomasse échappe aux décomposeurs et se transforme en combustibles fossiles.

g. Une faible part de l'énergie solaire est un moteur des enveloppes fluides externes.

3 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

a. Les végétaux chlorophylliens sont hétérotrophes.

b. L'énergie solaire par la photosynthèse permet le flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes.

c. La formation de kérogène se fait en présence de dioxygène.

d. La productivité primaire des océans est supérieure à celle de continents.

4 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Photosynthèse **b.** Productivité primaire **c.** Biomasse
d. Gisement **e.** Combustibles fossiles **f.** Ressource énergétique

5 Restitution organisée de connaissances

EXERCICE CORRIGÉ

Répondre aux questions suivantes.

a. Expliquer comment l'inégalité de l'énergie solaire reçue à la surface de la planète génère les mouvements atmosphériques.

b. Expliquer quelles sont les conditions favorables à la genèse des combustibles fossiles.

c. Expliquer comment la photosynthèse permet à l'échelle de la planète l'entrée de matière et d'énergie dans la biosphère.

d. Indiquer comment est réalisée la synthèse de matière organique chez les végétaux chlorophylliens.

6 Construction d'une phrase

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

a. Végétaux chlorophylliens, autotrophes, photosynthèse.

b. Producteurs primaires, chaînes alimentaires, entrée de matière et d'énergie.

c. Biomasse, productivité primaire, réseaux trophiques.

d. Accumulation, enfouissement, anoxie, combustibles fossiles.

e. Énergie solaire, dynamique atmosphérique, moteur.

f. Cycle de l'eau, évaporation, énergie solaire.

7 Raisonnement logique

EXERCICE CORRIGÉ

Construire un raisonnement logique en utilisant les phrases ci-dessous. Mettre les phrases dans un ordre logique afin de montrer que l'énergie solaire est convertie en diverses formes d'énergie à la surface du globe. On peut utiliser des conjonctions (or, donc...).

a. Les combustibles fossiles constituent des ressources énergétiques.

b. Il existe un transfert de matière et d'énergie au sein des réseaux trophiques.

c. Les végétaux sont des producteurs primaires et constituent une biomasse importante.

d. La photosynthèse permet, en utilisant les matières minérales et l'énergie lumineuse, de fabriquer de la matière organique.

e. L'énergie solaire peut être « fossilisée » : la matière organique morte accumulée dans des bassins se transforme lentement en combustibles fossiles.

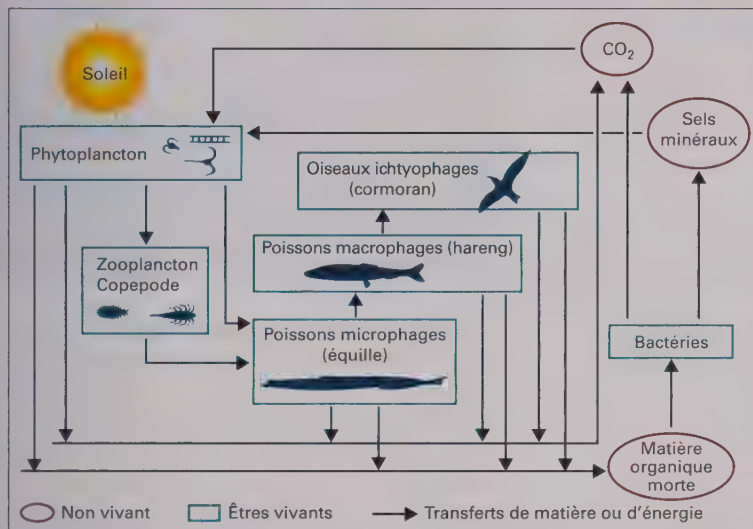
f. L'énergie solaire entraîne des mouvements au sein des enveloppes fluides externes.

Analyser des documents

8 Flux de matière et d'énergie

Pratiquer un raisonnement scientifique

EXERCICE CORRIGÉ



Relations entre les êtres vivants et les transferts d'énergie et de matière

Sont représentés sur le schéma les différents compartiments de la biosphère : les êtres vivants, le non vivant et les principaux transferts d'énergie et de matière.

a. Reproduire le schéma et tracer les flèches qui représentent les transferts d'énergie en rouge.

b. Écrire sur les flèches concernées les mots « photosynthèse » et « minéralisation » (plusieurs flèches correspondent à ces mots).

c. Indiquer dans un tableau les différents niveaux trophiques et les êtres vivants de chaque niveau trophique.

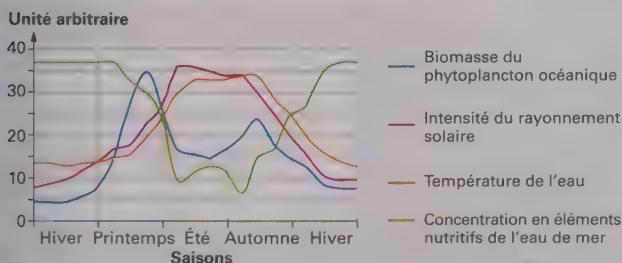
9 Analyser la productivité primaire

Pratiquer un raisonnement scientifique



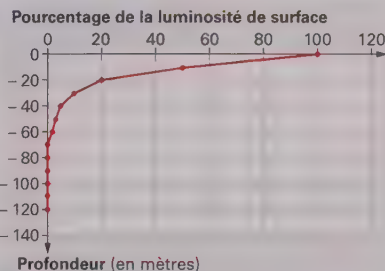
Milieu marin océanique	Productivité primaire ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$)
De 0 à 100 m	125
Au-delà de 100 m	0

1 **Productivité primaire du milieu océanique.** La productivité primaire est exprimée en grammes de matière sèche par mètre carré par an.

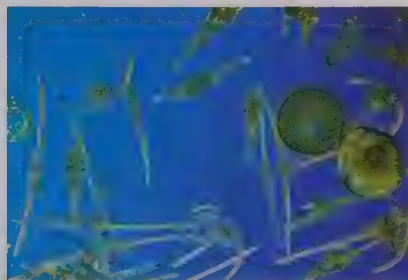


3 Production du phytoplancton marin au cours d'une année.

- Traduire le document 1 en quelques phrases.
- Expliquer les résultats du document 1 à l'aide du document 2.
- Décrire l'évolution de la biomasse de phytoplancton océanique au cours de l'année.
- Expliquer cette évolution à l'aide des autres données du graphe.
- Quel facteur du milieu océanique semble prédominant pour la valeur de la biomasse de phytoplancton ?



2 Variation de la luminosité en fonction de la profondeur.



4 Phytoplancton marin.

10 Les énergies fossiles et gisements Pratiquer un raisonnement scientifique

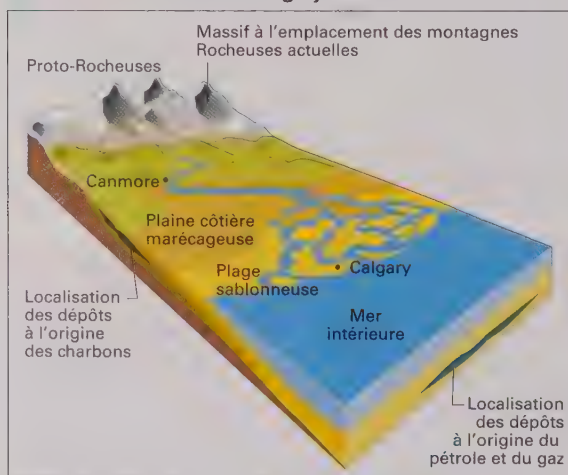
La région de l'Alberta, avec ses réserves de pétrole et de gaz, est l'entrepôt de l'énergie du Canada.

La province produit environ 85 % du pétrole utilisé quotidiennement au Canada et le champ de gaz naturel Jumping Pound, découvert en 1944, fournit plus de la moitié du gaz naturel utilisé à Calgary. Le charbon extrait à Canmore fournit plus de 80 % de l'énergie électrique de l'Alberta.

1 Exploitation de l'énergie fossile dans la région d'Alberta (Canada).



2 Paléoenvironnement de Calgary au Carbonifère.



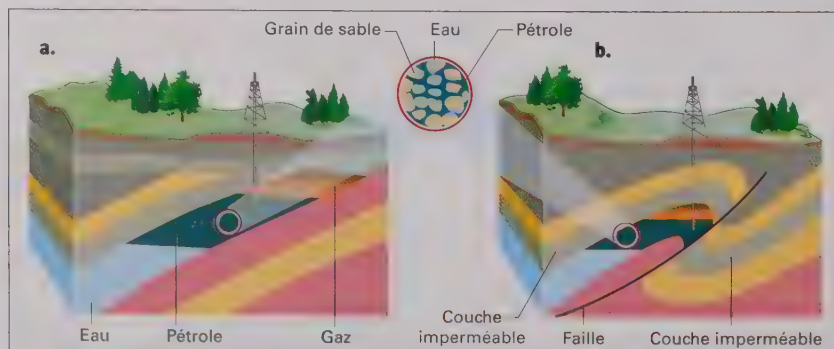
b. Représentation du paysage dans la région de Calgary au Carbonifère.

a. La région de Calgary au Carbonifère.

Il y a des millions d'années, la région de Calgary était recouverte d'une mer intérieure avec une vie marine abondante. Les terres situées vers l'ouest étaient sillonnées de rivières s'écoulant des proto-Rochesuses vers des marécages recouverts d'une végétation luxuriante.

3 L'enfouissement de plantes terrestres produit du charbon.

Les débris végétaux terrestres ont été enfouis sous la boue et le sable lorsque les milieux ont été modifiés. Sous l'effet de la chaleur et de la pression, engendrées par l'enfouissement des sédiments sur des millions d'années, ceux-ci se sont progressivement transformés en roches sédimentaires. La matière végétale, concentrée dans des niveaux qui formaient autrefois des marécages, s'est transformée en filons de charbon, présents dans les régions de Canmore et de Bankhead.



4 Structure du gisement pétrolier de la région de Calgary.

a. Piège stratigraphique autour de Calgary.

b. Piège structural à l'ouest de Calgary.

■ À l'aide de vos connaissances et des documents, expliquer la mise en place des gisements de pétrole, de gaz et de charbon, près de Calgary.

11 Les échanges gazeux associés à la photosynthèse



	Lumière	Dégagement gazeux
Eau de distribution	Présente	Dégagement gazeux riche en O_2
Eau de distribution enrichie en CO_2	Présente	Intense dégagement gazeux riche en O_2
Eau de distribution bouillie*	Présente	Absence de dégagement gazeux
Eau de distribution	Absente	Absence de dégagement gazeux

b.

* L'eau bouillie ne contient aucun gaz.

a. Observer les conditions des 4 montages présentés. Par combien de paramètres différent-ils ? Justifier cette précaution.

b. Analyser les résultats.

c. Rappeler l'équation globale de la photosynthèse et souligner les composés impliqués dans ce protocole.

Restituer ses connaissances de façon organisée

12 Le Soleil : une source d'énergie essentielle Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Grâce à la photosynthèse, l'énergie solaire permet à l'échelle de la planète une entrée de matière et d'énergie dans la biosphère. Présenter ce processus, puis expliquer comment cette énergie solaire peut être convertie en ressource énergétique fossile exploitable par l'Homme. Inclure des schémas dans l'exposé.

AIDE MÉTHODOLOGIQUE

1. Pour bien comprendre le sujet

Souligner les mots importants du sujet (*photosynthèse, énergie solaire, matière, énergie, ressource énergétique fossile exploitable*) et les définir au brouillon.

2. Établir les limites du sujet

Au brouillon, faire le tri dans ses connaissances, noter les points qui se rapportent au sujet, éliminer les autres.

3. Établir un plan au brouillon

Ce plan doit être constitué d'un petit nombre de parties (deux à trois). Ce plan apparaît souvent dans l'énoncé.

Une première partie traiterait des conditions nécessaires à la photosynthèse.

Une deuxième exposerait la productivité primaire et les flux de matière d'énergie à l'origine de la biomasse.

Une troisième partie expliquerait que la part de la biomasse qui échappe à la minéralisation est transformée en combustibles fossiles.

Enfin, indiquer que l'énergie solaire non utilisée par la photosynthèse est convertie en d'autres formes d'énergie.

4. Rédiger une introduction

- Définir les termes importants : *énergie solaire, photosynthèse, ressource*.
- Présenter et éventuellement limiter le problème à résoudre.
- Présenter les grandes lignes du plan.

5. Rédiger le plan et son contenu en intégrant des schémas

- Dans chaque partie, organiser les idées à présenter dans un ordre logique : *par exemple dans la première partie, indiquer que la photosynthèse permet la fabrication de matière organique qui est mise à la disposition des autres niveaux trophiques permettant d'augmenter la biomasse*.
- À chaque étape, intégrer à l'exposé les arguments expérimentaux, les schémas et les exemples à évoquer.
- Pour les schémas : soigner leur présentation, indiquer un titre et des légendes.

6. Rédiger une conclusion

- Faire un bilan du devoir qui doit répondre au sujet posé.
- Terminer par une ouverture vers d'autres sujets.

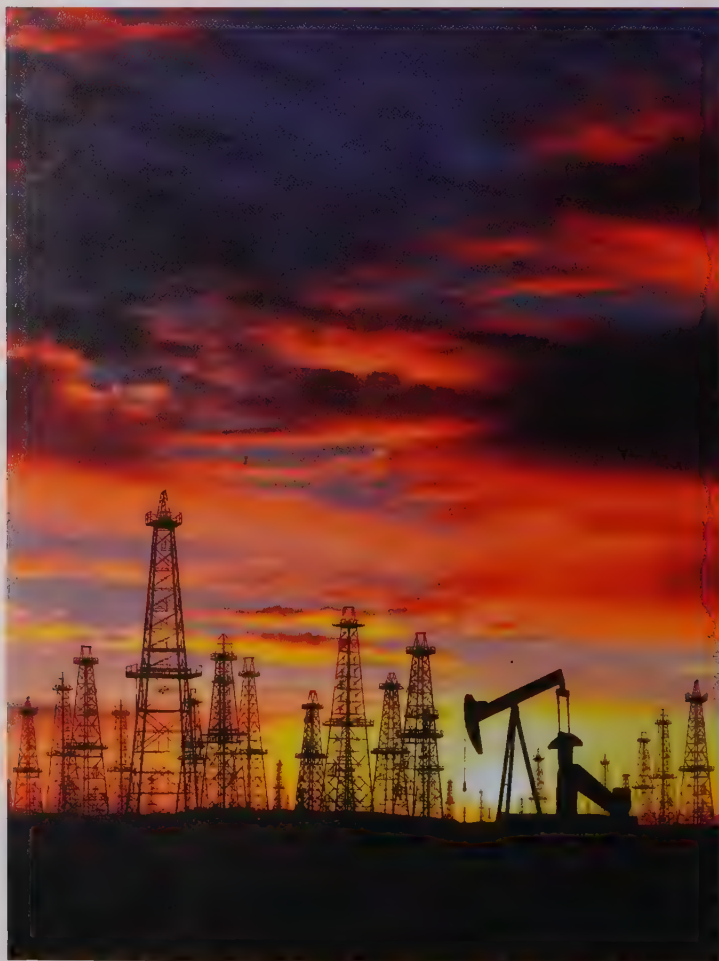
➤ La connaissance des mécanismes de formation de combustibles fossiles permet de découvrir et d'exploiter ces gisements. L'exploitation, ainsi que l'utilisation de cette énergie solaire fossilisée, entraîne des déséquilibres dans le cycle naturel du carbone. Face à la croissance démographique et aux besoins énergétiques qui l'accompagnent, il est nécessaire d'utiliser des ressources énergétiques rapidement renouvelables.

1

Découverte d'un gisement de pétrole.

Aujourd'hui, le pétrole fournit plus du tiers de l'énergie primaire utilisée par l'Homme, et les transports dépendent à 97 % des produits pétroliers. Le pétrole est réparti très inégalement dans le sous-sol de la planète ; la prospection et l'exploitation de ces gisements ont été sources de nombreux conflits.

Comment découvrir et exploiter un gisement de pétrole ?



Energétiques planétaires



2

Rejets atmosphériques comportant du dioxyde de carbone par un complexe industriel.

Les activités humaines utilisent l'énergie des combustibles fossiles pour le chauffage, le transport et le fonctionnement des industries. La combustion de ces énergies fossiles libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et perturbe le cycle naturel du carbone.

Quel est l'impact des activités humaines sur le cycle naturel du carbone ?



3

Champ d'héliostats : panneaux solaires motorisés pouvant suivre le déplacement des rayons solaires.

Les gisements de combustibles fossiles commencent à se tarir. L'utilisation de ces combustibles modifie le cycle du carbone. Or, les besoins de l'humanité en énergie ne cessent d'augmenter. Un développement durable repose sur l'utilisation d'énergies de substitution moins polluantes et rapidement renouvelables.

Quelles sont les alternatives durables à l'utilisation de combustibles fossiles ?

Découverte et exploitation des gisements de pétrole



Nous savons que 1% de l'énergie solaire est utilisée par les végétaux chlorophylliens pour réaliser la photosynthèse. Une partie de la biomasse élaborée échappe à la décomposition et constitue des combustibles fossiles exploitables par l'Homme.

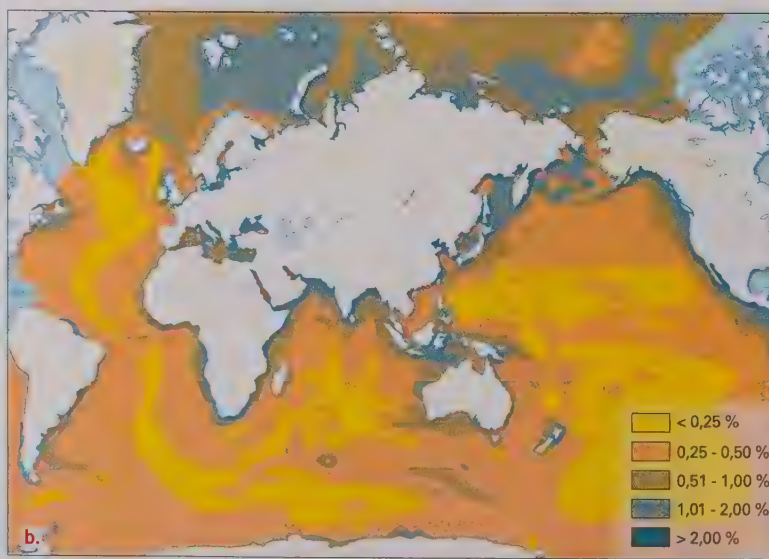
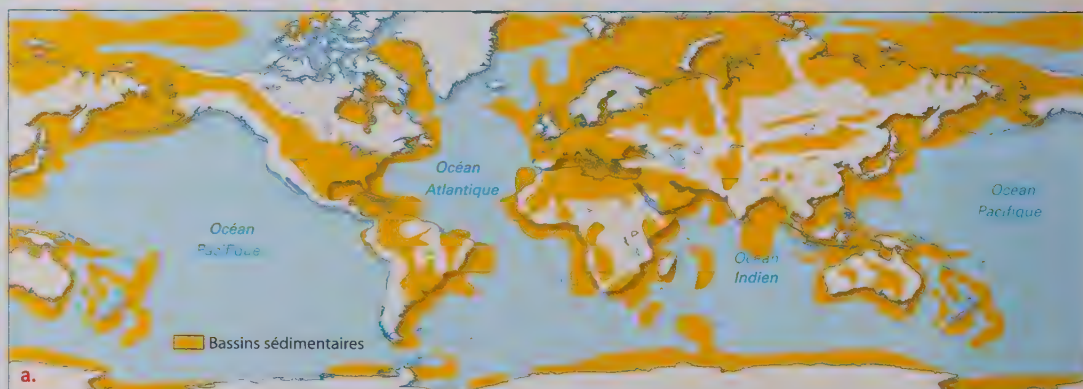


Comment les gisements de pétrole sont-ils découverts et exploités ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre sur quoi repose la découverte et l'exploitation des gisements ; connaître les implications économiques et environnementales de l'exploitation.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Des zones d'accumulation favorables à la prospection pétrolière

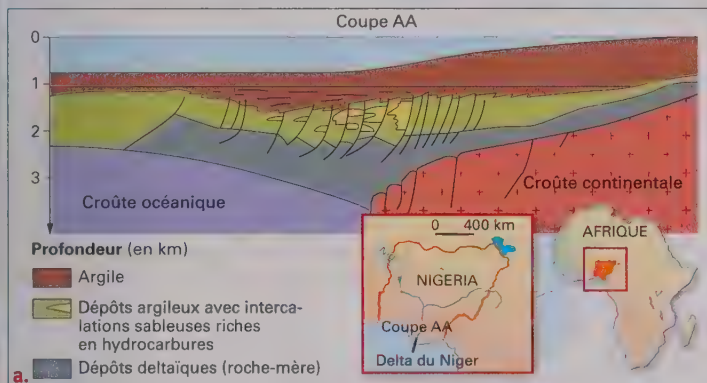


1 Des contextes géologiques propices à l'accumulation de matière organique : les bassins sédimentaires.

a. La répartition mondiale des bassins sédimentaires.
b. Distribution de la matière organique dans les cinq premiers centimètres des sédiments marins (en pourcentage).

B L'exploitation terrestre et marine des gisements

La recherche d'un gisement passe par la connaissance des structures géologiques. La « sismique réflexion », méthode géophysique de prospection, permet de repérer les structures favorisant le piégeage du pétrole.



2 La prospection pétrolière.

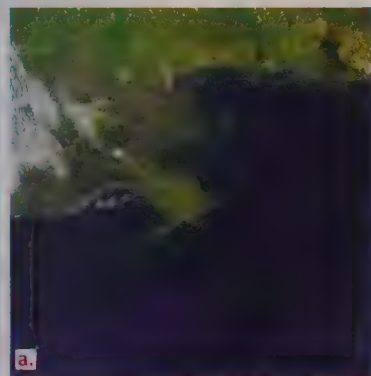
- a. Coupe géologique d'un champ pétrolier du delta du Niger.
b. Accumulation d'hydrocarbures dans les pores de la roche réservoir.



3 Les méthodes d'exploitation.

Le forage est le seul moyen de prouver qu'une structure contient bien des hydrocarbures et d'en évaluer le potentiel productif. Un trou de diamètre décroissant (60 à 10 cm) est foré par un trépan dirigé vers une zone à quelques centaines de mètres ou quelques kilomètres de profondeur. Pour exploiter les gisements situés en mer, on installe des plates-formes offshore.

C Les conséquences environnementales de l'exploitation pétrolière



4 Les conséquences environnementales des forages pétroliers.

Le 20 avril 2010, une explosion endommage les installations de la plate-forme pétrolière Deepwater Horizon, entraînant une immense fuite de pétrole dans le golfe du Mexique.

a. Image satellitaire (prise le 29 avril 2010) au-dessus du golfe du Mexique. Elle permet d'observer la nappe de pétrole à proximité du delta du Mississippi.

b. Pélican recouvert de pétrole, à 5 kilomètres des côtes de Louisiane (5 juin 2010).

CRITÈRES DE RÉUSSITE

1. Décrire le contexte d'accumulation de matière organique et expliquer la présence de ces dépôts en domaine continental.

EXPLOITATION

1. Mettre en relation les deux cartes proposées (doc. 1a et 1b). Proposer une explication quant à la présence de carbone accumulé dans certaines zones géographiques.
2. Mettre en relation les caractéristiques de certaines strates présentées dans la coupe et leur importance dans le gisement (doc. 2).
3. Justifier les techniques d'exploitation des gisements présentées (doc. 3).
4. Décrire les conséquences environnementales de l'extension de la nappe de pétrole dans le golfe du Mexique (doc. 4). Expliquer les inquiétudes posées par le rapprochement de cette nappe du Gulf Stream.

Cycle contemporain du carbone et sa modification par l'Homme

Nous savons que l'atmosphère n'a pas connu une concentration en dioxyde de carbone aussi élevée depuis des millions d'années.

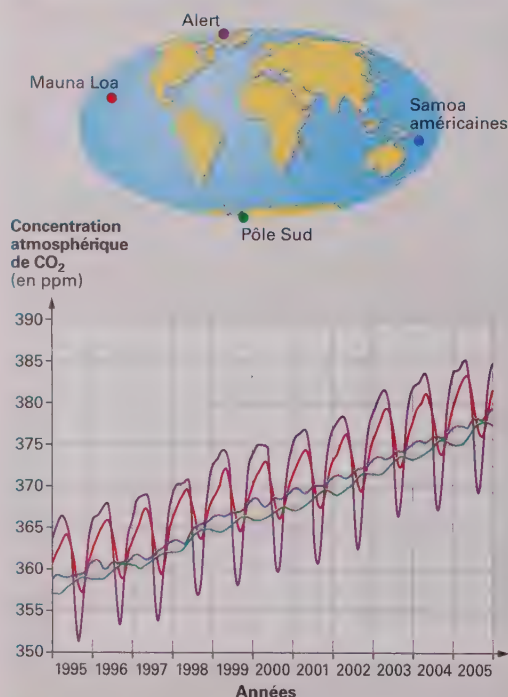


Quelles sont les conséquences de l'utilisation des combustibles fossiles sur le cycle du carbone actuel ?

OBJECTIFS

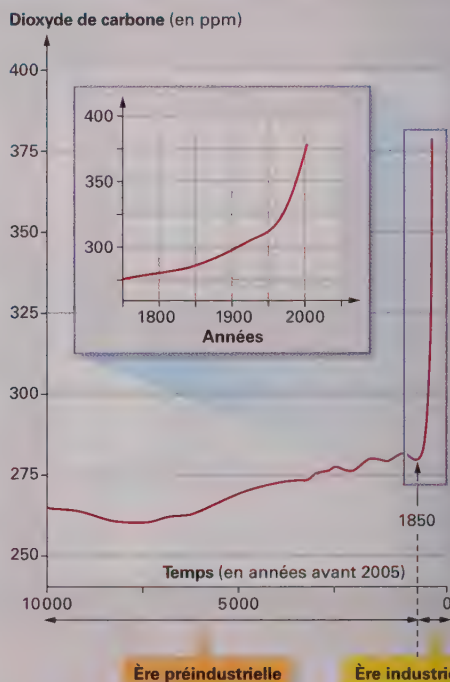
- **Connaissances** : comprendre comment les actions humaines perturbent le cycle naturel du carbone.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur.

A Évolution du dioxyde de carbone dans l'atmosphère



1 Cycle saisonnier du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Concentrations atmosphériques de CO_2 , en ppm (partie par million, par exemple 280 ppm = 0,028 % dans l'atmosphère), mesurées entre 1995 et 2006 pour quatre stations.



2 Évolution de la concentration en dioxyde de carbone (données issues de l'analyse des bulles de gaz enfermées dans les carottes de glace) et de mesures directes récentes.

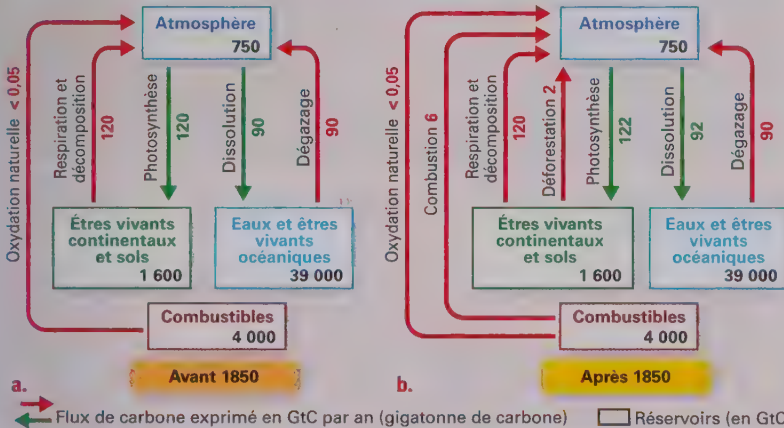
B Le bilan en carbone de la Terre



3 Le cycle du carbone.

Le carbone est présent sur la planète en quantité finie. Il est possible de déterminer cette quantité à l'intérieur de grands espaces nommés réservoirs comme l'océan, l'atmosphère... Ces quantités sont exprimées en GtC (gigatonnes de carbone = milliards de tonnes). Il existe des échanges de carbone entre les différents réservoirs. Par exemple, la respiration des êtres vivants rejette du dioxyde de carbone qui vient augmenter le stock de carbone de

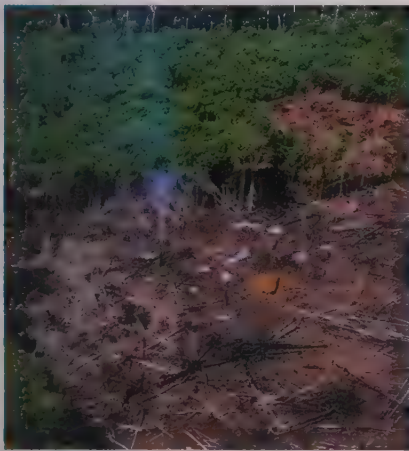
l'atmosphère. Parallèlement, les végétaux chlorophylliens puisent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, qui est ainsi appauvrie en carbone. Les flux de carbone qui transitent entre les réservoirs sont matérialisés par des flèches et leur valeur est exprimée en GtC par an. Un réservoir est considéré à l'équilibre quand les flux d'entrée (flèches dirigées vers le réservoir) sont égaux aux flux de sortie (flèches dirigées hors du réservoir) de carbone.



4 Cycle du carbone avant et après 1850. Les valeurs ont été simplifiées et seule une partie du cycle et des flux sont représentés.

a. Partie du cycle naturel du carbone, c'est-à-dire du cycle tel qu'on le considère avant 1850, où l'impact des activités humaines était sans conséquences.

b. Partie du cycle à partir de 1850, mentionnant les perturbations anthropiques (d'origine humaine).



5 Les effets de la déforestation.

La déforestation non accompagnée de replantation a plusieurs conséquences sur les flux de dioxyde de carbone. Les végétaux capables de fixer le dioxyde de carbone sont moins nombreux. De plus, les sols sont plus exposés et la décomposition de la matière organique qu'ils contiennent, génératrice de dioxyde de carbone, est plus intense.

6 Importance de la connaissance des flux entre les réservoirs.

Les émissions anthropiques de dioxyde de carbone, gaz à effet de serre, constituent chaque année une source de 8 GtC qui s'ajoutent aux émissions naturelles. La température moyenne du globe a augmenté de presque 1 °C depuis 150 ans. Même si, sur les 8 milliards de tonnes de carbone excédentaires émis chaque année, la moitié est absorbée par les océans et la végétation, la réduction des rejets de CO₂ ou les actions permettant de favoriser les puits de CO₂ (processus consommateurs de CO₂) constituent un enjeu planétaire dans la lutte contre le réchauffement climatique.

EXPLOITATION

1. Quelle tendance globale est montrée par les 4 enregistrements ? Justifier le choix des 4 stations retenues (doc. 1).
2. Analyser le document 2. Donner un argument en faveur de l'influence de l'Homme sur la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone.
3. Utiliser les documents 3 et 4a pour montrer l'équilibre du cycle du carbone avant l'ère préindustrielle.

4. Utiliser les documents 4b et 5 pour montrer comment les activités humaines perturbent le cycle du carbone. Justifier l'expression suivante : « L'Homme, par son action, accélère certains flux de carbone. »
5. Pourquoi peut-on dire que le cycle du carbone possède une régulation (doc. 4b) ? Les effets de cette régulation sont-ils suffisants sur une courte période de temps ?

Énergies d'origine solaire en complément des combustibles fossiles



Nous savons que le flux de dioxyde de carbone entrant dans l'atmosphère augmente rapidement à cause d'interventions humaines (combustion de combustibles fossiles et déforestation). Cette augmentation rapide interfère avec le cycle naturel du carbone.



Quelles sont les énergies d'origine solaire pouvant constituer des énergies de substitution rapidement renouvelables ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : connaître quelques énergies renouvelables dérivant plus ou moins directement de l'énergie solaire.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : modéliser.



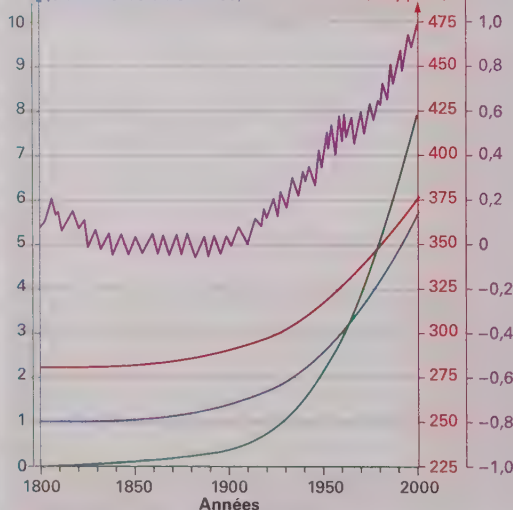
La maîtrise des dépenses d'énergie

Consommation mondiale d'énergie (en Gtep)

Population mondiale (en milliards d'hommes)

Température moyenne de l'atmosphère (en °C)

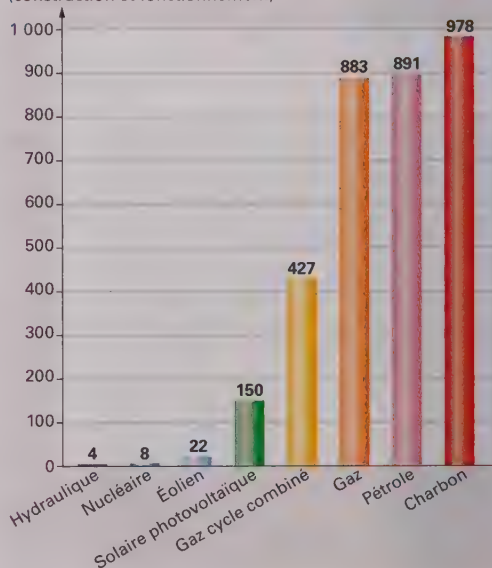
Concentration de CO₂ dans l'atmosphère (en ppmv)



1 Évolution de la concentration atmosphérique en CO₂ corrélée à divers paramètres.

L'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole est exprimée en tonne d'équivalent pétrole : 1 tep équivaut à 42 GJ ($42 \cdot 10^9$ J), cela correspond à 11 628 kWh.

Émissions de CO₂ en grammes par kWh (construction et fonctionnement)

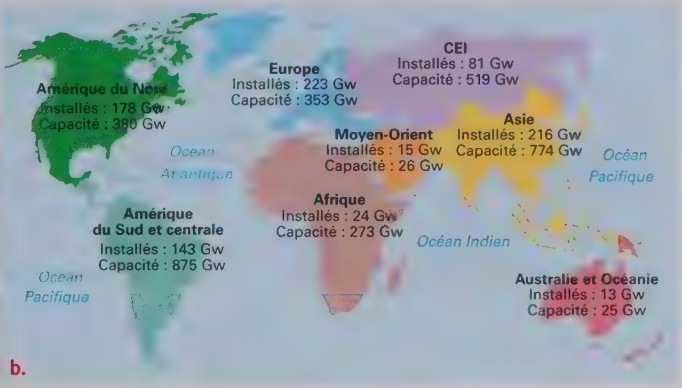


2 Émissions de CO₂ (en g/kWh) dans les différents secteurs de l'énergie.

Ces valeurs associent le dioxyde de carbone dégagé lors de la construction de l'installation et lors de son fonctionnement. Le gaz en cycle combiné caractérise une production d'énergie dans laquelle l'énergie du combustible alimente un moteur couplé à un générateur qui produit de l'énergie électrique.

B L'hydraulique : une énergie renouvelable

L'énergie hydraulique utilise l'énergie mécanique de l'eau des rivières pour la convertir en électricité. C'est de très loin la source la plus importante d'électricité d'origine renouvelable.



3 L'énergie hydraulique.

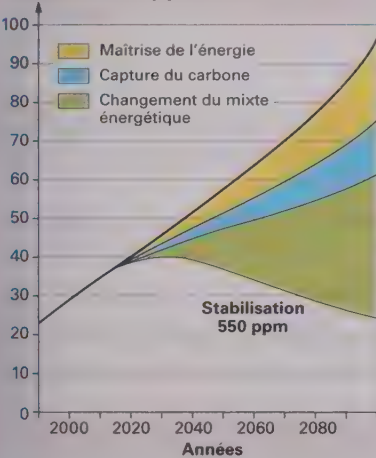
La production mondiale d'hydroélectricité représente 17 % de l'énergie électrique.

- a. Barrage hydraulique des Trois-Rivières en Chine.
b. Ressources hydrauliques par région.

Les deux valeurs indiquent la puissance de l'énergie électrique d'origine hydraulique délivrée par les barrages existants (installés) et celle théoriquement atteinte si tous les sites étaient exploités (capacité).

C Les solutions pour stabiliser le CO₂

Rejets de CO₂ (en gigatonnes par an)



4 L'évolution possible de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone.

Si aucune mesure n'est prise, la concentration en dioxyde de carbone va inexorablement augmenter et pourrait atteindre, en 2100, 745 ppm contre 370 aujourd'hui. Cela entraînerait une augmentation de la température de 2,7 à 4,7 degrés Celsius. Des modèles informatiques proposent des simulations pour prévoir cette augmentation. Ils intègrent un certain nombre de dispositions visant à réduire les émissions de dioxyde de carbone.

5 Les trois grands axes pour réaliser la stabilisation du CO₂.

Le graphique représente l'évolution des rejets de dioxyde de carbone dans un modèle visant à stabiliser la concentration atmosphérique à 550 ppm. Les divers secteurs colorés indiquent la part de chaque mesure (maîtrise de l'énergie, capture du carbone, changement du mixte énergétique) dans la réduction des émissions. La capture du dioxyde de carbone consiste à piéger ce gaz dans les émissions et à le stocker dans le sous-sol. Le changement du « mixte énergétique » désigne l'utilisation d'énergie renouvelables, moins polluantes. La maîtrise de l'énergie passe par un comportement responsable vis-à-vis de l'environnement et par une maîtrise de la demande énergétique.

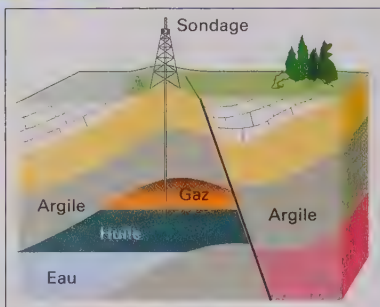
EXPLOITATION

1. Quelles tendances montre le document 1 à partir de 1900 ?
Proposer une relation ordonnée entre les quatre paramètres consignés sur ce graphique.
2. **Trouver** des arguments dans le document 2 en faveur de la nécessité d'une alternative aux ressources énergétiques polluantes.

3. Quels sont les pays les plus gros producteurs ? Quels sont ceux au plus haut potentiel hydraulique (doc. 3) ?
4. Que représentent les courbes supérieure et inférieure (doc. 5) ?
5. **Discuter** des principales énergies renouvelables dans le modèle présenté (doc. 4 et 5).

1

De la formation d'un gisement à son exploitation



1 Exemple d'un piège géologique à hydrocarbures : une faille.

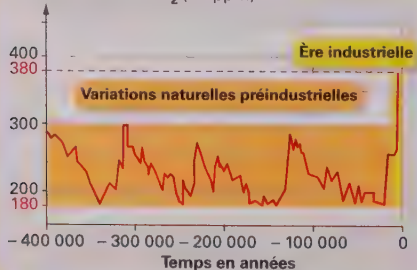


2 Pompage d'un puits de pétrole.



3 Marée noire, golfe du Mexique, mai 2010.

Concentration en CO₂ (en ppm)



4 L'augmentation brutale de la concentration en CO₂.

● La formation de roches carbonées exploitées comme **combustibles fossiles** nécessite l'**accumulation de matière organique** et sa soustraction rapide à l'action des décomposeurs. Les paléoenvironnements répondant à ces conditions sont des **bassins sédimentaires** proches d'un lieu où la productivité de biomasse est importante. Leur **enfouissement progressif**, pendant une longue durée, permet l'accumulation des sédiments sous une faible profondeur d'eau. Les gisements exploités actuellement sont pour l'essentiel situés en mer. Il existe également des gisements continentaux qui correspondent à d'anciens environnements aquatiques lacustres (charbons) et le plus souvent marins (charbon et pétrole) (**activité 1**).

● La **prospection** ou recherche des gisements de pétrole consiste à identifier des lieux qui correspondent à des bassins sédimentaires actuels ou anciens qui ont pu constituer des pièges (**doc. 1**) favorables à l'accumulation et à la conservation de la matière organique. Vient ensuite une analyse de la structure des terrains par des techniques géophysiques. Elles permettent d'identifier les **roches-mères** capables de donner naissance à des **hydrocarbures**, liquides ou gazeux, et des **roches réservoirs** où les hydrocarbures sont piégés et s'accumulent après leur migration. ➡ (**Questions de sciences p. 168**)

● Cette **migration** à partir de la roche-mère peut atteindre la surface comme en témoignent les « feux sacrés » de gaz en Irak. Elle peut aussi être stoppée par une couche imperméable (argile, sel gemme). Les hydrocarbures s'accumulent dans les pores de la strate voisine ou sous-jacente qui constitue un **réservoir**.

● Atteindre les hydrocarbures nécessite la réalisation de **forages**, parfois réalisés à grande profondeur sous d'épaisses masses d'eau. Une fois le réservoir atteint, l'aspiration se fait par pompage (**doc. 2**). Des processus d'expulsion sont parfois nécessaires à la remontée des hydrocarbures. Ceux-ci peuvent être alors acheminés vers des lieux de stockage avant leur transformation ou leur utilisation.

● L'exploitation des combustibles fossiles a d'importantes **conséquences économiques** à l'échelle de la planète.

● L'exploitation de ces combustibles a aussi parfois un **coût écologique**. Les fuites d'oléoducs provoquent des pollutions terrestres (Sibérie). Le transport des hydrocarbures par les supertankers est parfois à l'origine de pollutions marines et côtières dont les écosystèmes subissent les conséquences parfois irréparables (nauffrage de l'Amoco Cadiz en 1978, de l'Exxon Valdez en 1989, de l'Erika en 1999...). Enfin, des accidents peuvent survenir lors de l'exploitation (**doc. 3**). La marée noire qui affecte le golfe du Mexique, actuellement, a une ampleur sans précédent dans l'histoire industrielle.

● Au XIX^e siècle, l'ère industrielle relance la croissance démographique qui s'accompagne d'un besoin accru en énergie. Les enregistrements directs (atmosphériques) et indirects (analyse des bulles d'air dans les carottes de glace) mettent en évidence une **augmentation** de la quantité de dioxyde de carbone atmosphérique d'origine anthropique, due à la combustion des énergies fossiles (**doc. 4**).

Les variations anthropiques du cycle du carbone



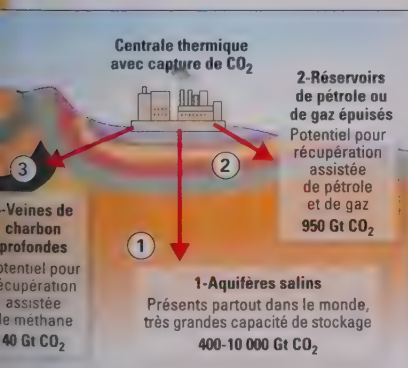
5 Une cimenterie, source importante de CO₂ à l'échelle mondiale. Chaque tonne de ciment produite requiert l'équivalent de 60 à 130 kg de fuel, soit une moyenne de 110 kWh.

- Le carbone, comme tous les éléments présents sur Terre, est en quantité limitée. Il entre dans la constitution de molécules diverses au cours du temps. Par exemple, un atome de carbone appartient à un moment donné à une molécule de glucose d'un organisme, puis va se retrouver sous forme de dioxyde de carbone gazeux quand le glucose aura été oxydé lors de la respiration cellulaire. Il se trouvera alors dans l'atmosphère, ou dissous dans l'eau des océans, et pourra ensuite se retrouver à nouveau incorporé à une molécule du vivant. Ce cheminement est qualifié de cycle du carbone.

- Le cycle du carbone comporte des grands réservoirs (biosphère, atmosphère, hydrosphère, roches carbonées...) dans lesquels on peut estimer la masse de carbone présente en gigatonne (Gt). On peut également estimer les flux, c'est-à-dire la masse de carbone qui transite entre deux réservoirs par unité de temps (Gt/an).

- On estime qu'avant l'ère industrielle (1850) le cycle du carbone était équilibré. Cela veut dire que, pour chaque réservoir, les flux d'entrée étaient égaux aux flux de sortie. Depuis l'utilisation massive de combustibles fossiles par l'Homme, on assiste à une restitution rapide de dioxyde de carbone à l'atmosphère alors que le carbone de ce gaz avait été prélevé dans l'atmosphère et transformé en combustible fossile par un processus très lent (de l'ordre de dizaines de millions d'années). La déforestation intensive expose la matière organique des sols à une dégradation rapide, ce qui accélère également la restitution de dioxyde de carbone à l'atmosphère. L'Homme, par ses activités interfère sur le cycle naturel du carbone en accélérant de façon importante des flux qui sont naturellement beaucoup plus lents (doc. 5).

Les alternatives durables à l'utilisation de combustibles fossiles



6 Le stockage géologique du CO₂.

- Les énergies fossiles se forment sur des milliers d'années dans le sous-sol et ne sont pas renouvelables à l'échelle humaine. L'utilisation des combustibles fossiles s'accompagne de rejets importants de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ce gaz à effet de serre participe vraisemblablement au réchauffement de la planète (activité 3).

- Il faut donc réduire ces émissions. Le premier axe consiste à capter le dioxyde de carbone dans des effluents de cheminée et à l'enfouir dans des réservoirs géologiques imperméables (doc. 6).

- Le deuxième axe est de recourir aux vecteurs énergétiques non carbonés comme l'électricité ou l'hydrogène et de mettre en place des solutions d'économie d'énergie. Les énergies renouvelables (biomasse, solaire, hydraulique, éolien, géothermie) constituent l'autre grande alternative. Les coûts d'investissement sont importants et leur compétitivité par rapport aux énergies fossiles est faible. De surcroît, le solaire et l'éolien possèdent un caractère intermittent aléatoire.

- Le développement de stratégies énergétiques durables constitue un réel enjeu économique et environnemental.

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Ressources énergétiques et enjeux planétaires



Dans des environnements de haute productivité, une **faible proportion de la matière organique** échappe à l'action des décomposeurs. Elle se **transforme en combustible fossile** au cours de son enfouissement.

La **répartition des gisements** de combustibles fossiles met en évidence que la transformation et la conservation de matière organique se déroulent dans des **circonstances géologiques spécifiques**.

La connaissance de ces mécanismes permet de **découvrir les gisements** (prospection) et de les exploiter par des méthodes adaptées.

Cette exploitation a des implications **économiques et environnementales**.

L'**utilisation** des combustibles fossiles **restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone** prélevé lentement et piégé depuis longtemps dans le réservoir. Cette combustion de carbone fossile est en réalité une utilisation de **l'énergie solaire du passé**.

L'augmentation rapide, d'origine humaine, de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le **cycle naturel du carbone**.

Les roches carbonées (combustibles fossiles) **ne constituent pas** une source **d'énergie renouvelable**.

Des utilisations indirectes de l'énergie solaire comme l'utilisation des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques constituent des ressources **énergétiques rapidement renouvelables** et représentent un véritable enjeu planétaire.

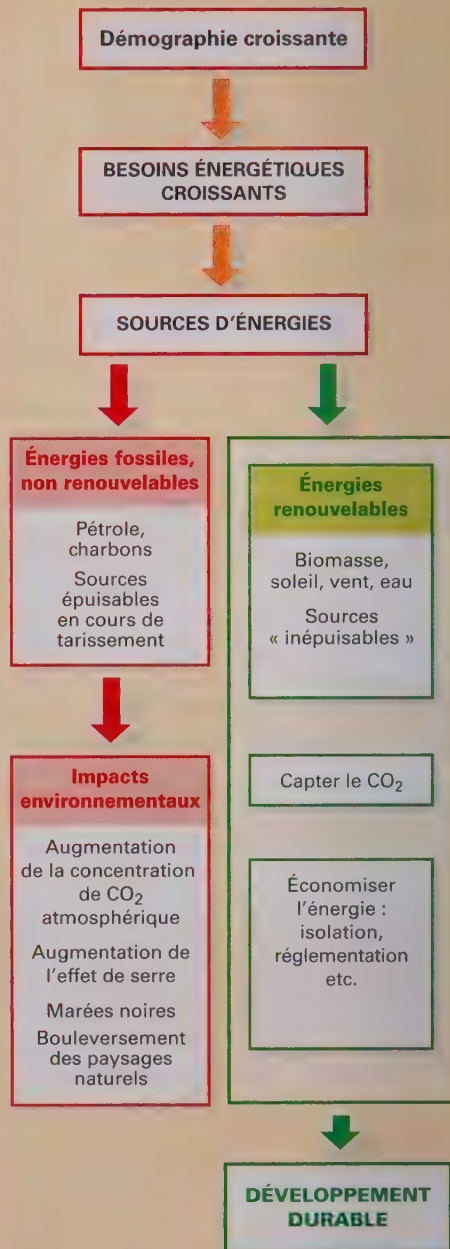
CAPACITÉS ET ATTITUDES

■ Recenser, extraire et organiser des informations.

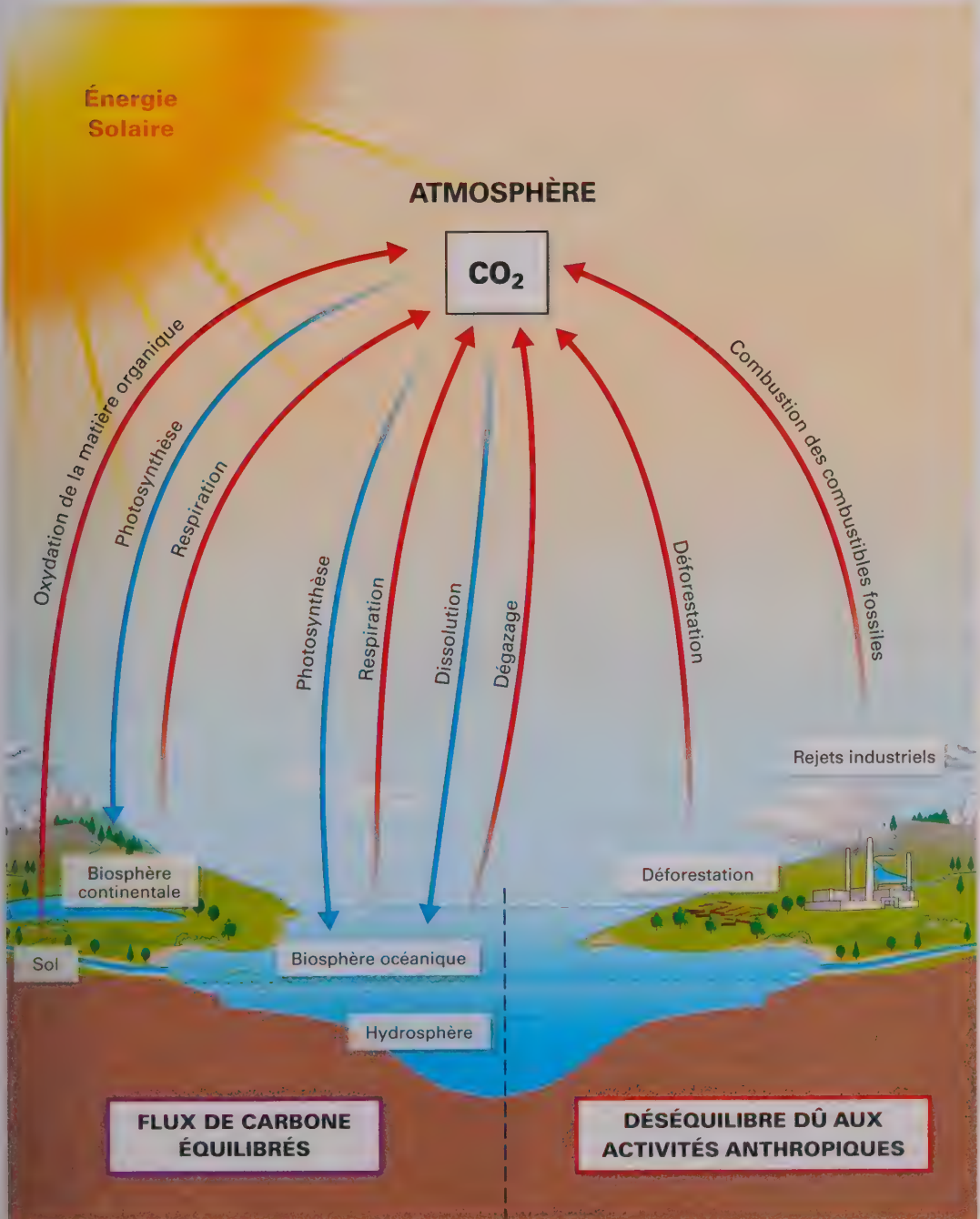
■ Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement.

■ Pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur, modéliser.

■ Besoins énergétiques de l'humanité et leur couverture



■ Cycle partiel du carbone et causes anthropiques de déséquilibre



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a. La matière organique :
 - 1. est totalement transformée en combustible fossile.
 - 2. est susceptible d'être piégée au sein de bassins sans être décomposée.
 - 3. se répartit de manière homogène à la surface de la Terre.
- b. Les gisements pétroliers :
 - 1. sont également répartis dans le monde.
 - 2. sont localisés uniquement en milieux continentaux.
 - 3. constituent une ressource limitée en énergie.
- c. Le cycle du carbone :
 - 1. est équilibré lorsque les flux d'entrée et les flux de sortie s'équilibrent.
 - 2. est actuellement caractérisé par un flux de carbone en direction de l'atmosphère.
 - 3. est indépendant des activités humaines.
- d. Les besoins actuels en énergie :
 - 1. sont en croissance.
 - 2. sont essentiellement pourvus par l'utilisation des roches carbonées.
 - 3. pourraient être pourvus par l'utilisation unique de l'énergie éolienne.

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a. La concentration en CO_2 atmosphérique a subi peu de variations depuis un millénaire.
- b. Les zones littorales constituent des zones généralement très riches en matière organique.
- c. Tout bassin sédimentaire peut constituer une zone de piégeage de la matière organique.
- d. On observe une croissance importante depuis deux siècles du flux de carbone en direction de l'atmosphère.
- e. Les roches carbonées constituent une source d'énergie renouvelable.
- f. L'utilisation de l'énergie hydraulique permet de limiter la production anthropique de CO_2 .

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a. Gisement b. Roche réservoir c. Combustibles fossiles
- d. Hydroélectricité e. Énergie renouvelable

4 Restitution organisée de connaissances

Répondre aux questions suivantes.

- a. Expliquer comment se forme un gisement pétrolier.
- b. Présenter les perturbations anthropiques du cycle du carbone.
- c. Montrer la diversité des sources d'énergie disponibles pour les activités humaines.
- d. Montrer la difficulté à mettre en place des alternatives à l'exploitation des gisements pétroliers.

5 Construction d'une phrase

EXERCICE CORRIGÉ

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a. Haute productivité, bassin, conditions, gisement.
- b. Répartition, régions géologiques, gisement, bassin.
- c. Économique, exploitation, gisement, conséquences.
- d. Activités humaines, cycle du carbone, flux, perturbation.
- e. Déforestation, carbone fossile, perturbations, cycle du carbone.
- f. Énergie éolienne, énergie renouvelable, exemple, énergie solaire.

6 Raisonnement logique

EXO INTER



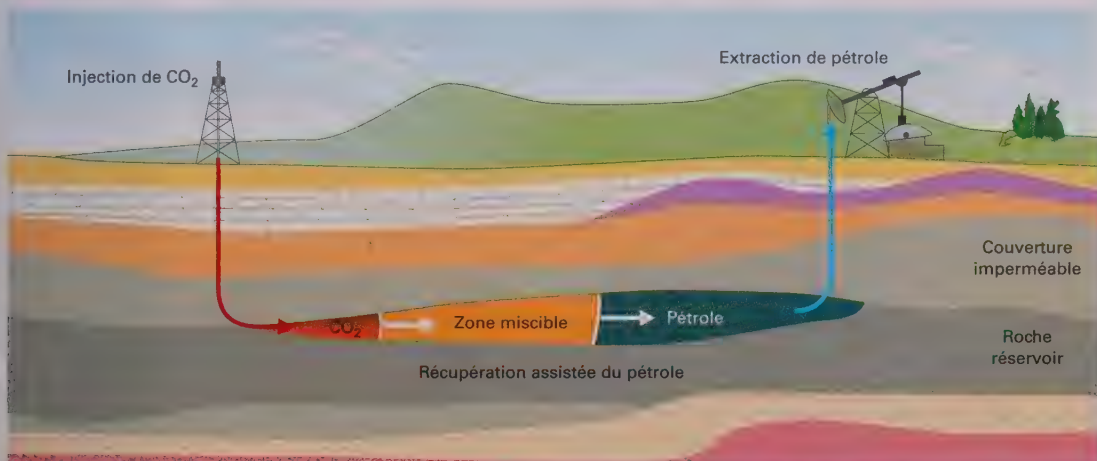
Construire un raisonnement logique en utilisant les phrases ci-dessous.

- a. Pour éviter une amplification du réchauffement climatique, il est nécessaire d'utiliser d'autres sources d'énergie que l'exploitation des roches carbonées.
- b. L'exploitation des gisements de roches carbonées entraîne un flux de carbone vers l'atmosphère.
- c. La principale source d'énergie pour les activités humaines est l'utilisation des roches carbonées.
- d. L'augmentation du CO_2 atmosphérique est suspectée d'être la principale cause du réchauffement climatique observé depuis un siècle.
- e. Les besoins énergétiques de l'humanité sont de plus en plus importants.

Analyser des documents

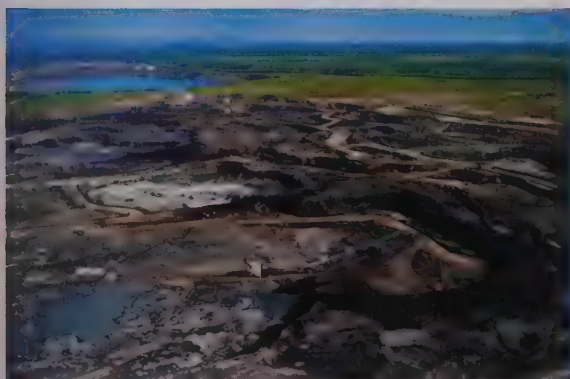
7 Étude d'un gisement pétrolier Pratiquer un raisonnement scientifique

Le site de Weyburn, au Canada, est un gisement de pétrole exploité. Depuis septembre 2000, il permet également de stocker 1,8 million de tonnes par an de CO_2 provenant d'une usine de gazéification de charbon située à Beulah (Dakota du Nord, USA) et transporté vers le site par un gazoduc.

Exploitation de pétrole par injection de CO_2 .

- Décrire le gisement de Weyburn.
- Quel est l'intérêt de l'injection du CO_2 pour l'exploitation du pétrole ?
- Expliquer en quoi la séquestration du CO_2 limite les conséquences sur le cycle du carbone de l'exploitation pétrolière.

8 Des nouveaux gisements de pétrole Pratiquer un raisonnement scientifique



Extraction de pétrole à partir de sables bitumineux dans la province de l'Alberta au Canada.

Les sables bitumineux constituent une nouvelle source possible de pétrole. En fait, il s'agit d'un mélange de 10 % de bitume et de 90 % de sables, d'argiles et d'autres roches. Les deux principaux gisements se trouvent dans la province de l'Alberta au Canada et dans la « ceinture de l'Orénoque » au Venezuela. Après extraction, ce bitume peut devenir un pétrole brut de synthèse. L'extraction est aisée, car les sables se situent à une faible profondeur, mais la transformation du bitume en pétrole s'avère très coûteuse, car elle nécessite beaucoup d'eau et d'énergie. Au final, on estime que l'exploitation de ces sables produit cinq fois plus de gaz à effet de serre qu'une exploitation traditionnelle de pétrole.

- Présenter les avantages et les inconvénients de l'utilisation de ces sables.
- Discuter de l'intérêt de l'exploitation de ces sites.

9 Dioxyde de carbone et climat

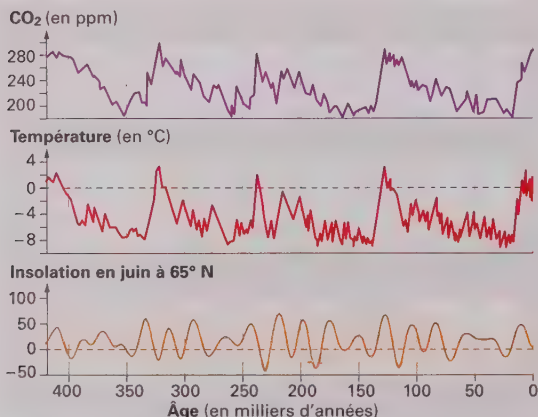
Pratiquer un raisonnement scientifique

EXERCICE CORRIGÉ

ÉCOLE

ANIMÉ

Les scientifiques suspectent que le réchauffement climatique récent est lié à la production anthropique de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone.

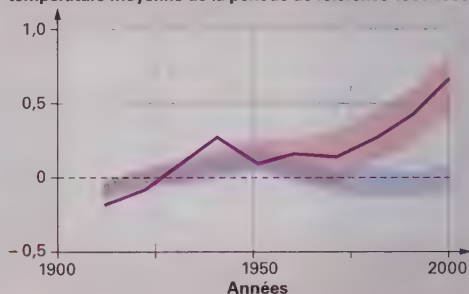


1 Différentes mesures obtenues à partir de carottes glaciaires à Vostok.

L'étude des glaces polaires (ici à Vostok) permet de retrouver l'évolution de différents paramètres climatiques (température) et atmosphériques (concentration en CO₂).

Ces mesures effectuées sur les 400 000 dernières années ont été comparées à l'évolution de l'insolation sur la même période (celle-ci dépendant de facteurs astronomiques, il est possible de la calculer).

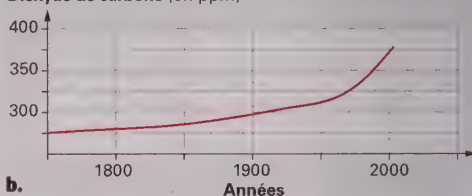
Différence entre la température observée et la température moyenne de la période de référence 1901-1950



- Évolution mesurée de la température
- Évolution modélisée de la température en utilisant uniquement les phénomènes naturels
- Évolution modélisée de la température en utilisant les phénomènes naturels et les activités anthropiques

a.

Dioxyde de carbone (en ppm)



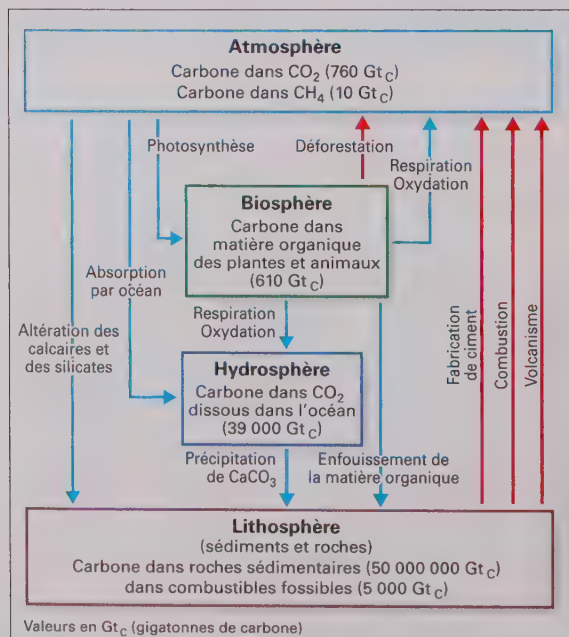
b.

2 Évolution de deux paramètres du climat en fonction du temps.

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) réalise des synthèses des travaux proposés par les scientifiques sur l'évolution du climat.

- a. Évolution de la température.
- b. Évolution du dioxyde de carbone.

- a. Montrer qu'il existe une corrélation entre la température et la concentration en CO₂ (doc. 1).
- b. Montrer que le réchauffement climatique coïncide avec la brusque élévation du CO₂ (doc. 2).
- c. Présenter les éléments du cycle du carbone perturbés par les activités humaines qui pourraient expliquer l'hypothèse proposée par les scientifiques : « Le réchauffement climatique récent pourrait être lié à la production anthropique de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone » (doc. 3).

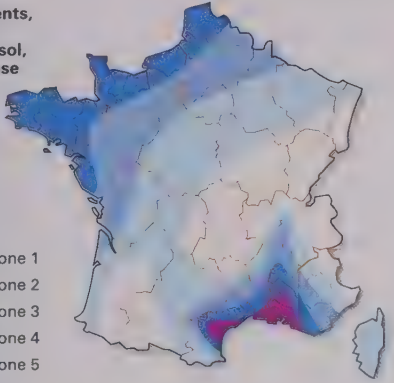


3 Le cycle du carbone.

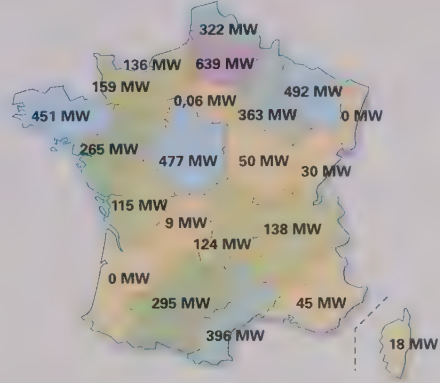
10 L'énergie éolienne en France Pratiquer un raisonnement scientifique

Vitesse des vents,
à 50 mètres
au-dessus du sol,
mesurée en rase
campagne
(en m/s)

< 4,5 Zone 1
4,5-5,5 Zone 2
5,5-6,5 Zone 3
6,5-7,5 Zone 4
> 7,5 Zone 5



1 Gisement éolien en France et vitesse des vents, à 50 mètres au-dessus du sol, mesurée en rase campagne.



2 Puissance éolienne installée en France.

Année	1990	2000	2005	2006	2007
Thermique nucléaire	314	415	452	450	440
Thermique classique	48	53	67	60	62
Hydraulique, éolien et photovoltaïque	58	72	58	64	68
Production brute	420	541	576	575	570

3 Répartition de la production électrique en France (exprimée en térawattheure : $1 \text{ TWh} = 10^{12} \text{ Wh}$).

4 Les objectifs pour l'utilisation de l'énergie éolienne.

La France et l'Union européenne ont lancé une politique ambitieuse dans ce domaine : en 2020, les énergies renouvelables (hydroélectrique, du solaire, de l'éolien, de la biomasse ou des sources géothermiques) devraient représenter au moins 20 % de la consommation énergétique totale dans l'Union européenne. Des objectifs nationaux contraignants seront fixés sur les prochains dix ans. Pour la France, la part d'énergies renouvelables passera de 10,3 % à 23 %. Concernant l'éolien, il s'agit de passer à environ 20 000 mégawatts ($1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$) à l'horizon 2020, pour l'éolien terrestre, soit une multiplication par 10 du parc en termes de puissance. Cette capacité devrait pouvoir être obtenue avec un parc de 8 000 éoliennes, soit 6 000 de plus qu'aujourd'hui.

- Repérer les régions françaises les plus favorables à l'exploitation du vent comme source d'énergie.
- Repérer les régions françaises où les productions d'énergie éolienne sont les plus importantes.
- Mettre en relation les informations des documents 1 et 2. Que peut-on en conclure ?
- Montrer que l'énergie éolienne constitue une source d'appoint possible d'énergie en France.

Restituer ses connaissances de façon organisée

11 Exploitation des gisements pétroliers Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Après avoir montré les conditions favorables à la formation d'un gisement, discuter sur les conséquences environnementales de l'exploitation par l'Homme de ces gisements.

➤ La population mondiale augmente régulièrement. En 2050, elle atteindra 9 milliards d'individus qui aspireront, tous, à un niveau de vie convenable. Il en résulte des besoins accrus en nourriture et en énergie alors que l'espace et les ressources disponibles sur notre planète sont limités. L'agriculture, par la production de biomasse, tente de couvrir les besoins alimentaires et une partie des besoins énergétiques.



1

Récolte de blé, en France.

La consommation de blé augmente régulièrement tous les ans. De 580 millions de tonnes en 1998, elle a atteint 611 millions de tonnes en 2007.

À l'échelle de la planète, la production annuelle de biomasse est de 400 milliards de tonnes.

Comment l'Homme utilise-t-il à son profit la biomasse engendrée par la photosynthèse ?

t concurrence biodiversité



2

Gagner des sols sur la forêt.

La production accrue de biomasse nécessite davantage de sols cultivables qui sont gagnés sur les écosystèmes naturels. Souvent, les sols ainsi conquis sont très vite dégradés et rendus inexploitable.

Quelles sont les conséquences des activités agricoles sur la biodiversité ?



3

Culture de colza et production d'agrocarburant.

Il y a quelques années, la hausse des cours du pétrole a induit la fabrication de carburant à partir de cultures végétales agricoles. Cette part de biomasse destinée à la production d'énergie n'est donc plus utilisée pour l'alimentation.

Quelles sont les conséquences de la diversification des activités agricoles sur l'alimentation humaine ?



4

Distribution de nourriture à la population, au Niger.

Les besoins alimentaires ne seront couverts que par une gestion raisonnée des ressources de l'agriculture.

Quelle gestion des ressources envisager pour répondre aux besoins alimentaires et énergétiques des populations ?

L'Homme détourne la biomasse à son profit

Nous savons que l'énergie lumineuse permet, dans les parties chlorophylliennes des végétaux, la synthèse de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de dioxyde de carbone. Cette biomasse est exploitée par l'Homme.



Dans quel but, et en quelle quantité, l'Homme utilise-t-il la biomasse ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer que l'Homme utilise la biomasse comme source de nourriture et source d'énergie.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A La biomasse produite par l'agriculture : une source de nourriture

1 Productivité végétale mondiale.

Les deux tiers de la planète Terre sont recouverts d'eau (lac, mers, océans...). Le tiers restant constitue la surface continentale. Cette surface est recouverte de forêts dont la productivité est de 950 gigatonnes de matière sèche par an (1 gigatonne = 1 000 000 000 t). Tous végétaux confondus, la production totale de biomasse* est évaluée à 1 250 gigatonnes par an.



2 Vue satellitaire de champs de maïs, blé et sorgho dans le Kansas.

Dans le Kansas (État des États-Unis), les récoltes sont destinées à l'alimentation. La majorité des champs apparaît sous la forme de disques verts de 800 m à 1,6 km de diamètre. Ces cercles parfaits sont dus à la technique d'irrigation dite « à pivot central » : une rampe, connectée à un puits, tourne comme un compas autour d'un axe central.

Catégorie	Surface (millions d'hectares)
Surface du territoire métropolitain	55
Territoire agricole	32
Bois, forêts	15,5
Territoire non agricole	7,5

3 Données relatives à l'activité agricole en France.

Culture pratiquée	Surface (hectares)
Betterave	380 000
Légumes	270 000
Fruits	180 000
Céréales	9 millions

4 Cultures françaises et occupation du sol métropolitain.

La production céréalière se répartit prioritairement entre quatre céréales : le blé tendre, le blé dur, l'orge et le maïs.

Données extraites de *Panorama de l'agriculture et des industries agro-alimentaires*, Publication du ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008.

VOCABULAIRE

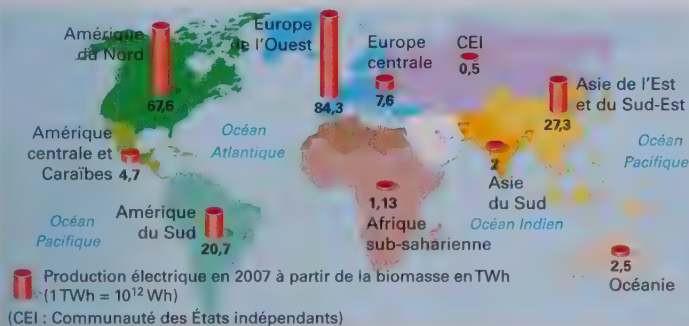
Agrocarburant : carburant produit à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse.

Biomasse : masse totale de la matière vivante par unité de surface dans un écosystème.

Énergie renouvelable : énergie exploitable par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas.

Sa vitesse de formation doit donc être plus grande que sa vitesse d'utilisation.

B La biomasse produite par l'agriculture : une source d'énergie



6 Valorisation de la biomasse sous forme de combustible : l'exemple du bois.

Près d'Épinal (Vosges), une énorme chaudière haute de 25 mètres tourne 24 heures sur 24. Placée au cœur de l'usine du papetier norvégien *Norske Skog*, elle est alimentée par du bois et des déchets du processus de fabrication du papier pour produire de la chaleur, sous forme de vapeur. Cette vapeur met en mouvement une turbine qui produit de l'électricité.

Ces combustibles renouvelables sont baptisés biomasse.

La biomasse fournit plus de la moitié de l'énergie renouvelable* consommée en France, devant l'hydroélectricité, l'éolien et le solaire.



7 Le bois : une source d'énergie renouvelable.

a. Bois sous forme de bûches pour chauffage. b. Taillis et récolte de saules de 4 ans. c. Copeaux frais issus d'une coupe de saules.

C La biomasse exploitée par l'Homme

Utilisation	Quantité (Gtep/an)
Matériaux (construction, papier, etc.)	0,4
Nourriture	2,1
Énergie	1,3

9 Parts de la biomasse mondiale utilisée par l'Homme en une année.

Le flux annuel de production de biomasse est de 400 Gt/an, soit 71 Gtep/an (Gtep : gigatonne équivalent pétrole = 10^9 tep).

La population mondiale est estimée à 6,1 milliards d'habitants, 1 Gtep/an correspond alors à 0,16 tep disponible par habitant et par an. Or, chaque Français consomme en moyenne 4,8 tep/an.

Données extraites de *Quelles énergies pour demain ?* Robert Dautray, éditions Odile Jacob, 2002.

EXPLOITATION

1. À partir du document 1, **relever** la quantité de biomasse produite sur les continents en une année.

2. **Calculer** en pourcentage la surface consacrée à l'agriculture en France. **Expliquer** en quoi consiste le territoire non agricole.

3. À partir des documents 5 à 8, **indiquer** le type de biomasse utilisée ainsi que la nature des énergies produites.

4. À partir du document 9, **calculer** les pourcentages de biomasse utilisés pour l'alimentation et l'énergie en une année par rapport à la biomasse totale disponible. **Calculer** la part totale de biomasse utilisée par l'Homme par an. **Commenter** ces résultats.

5. L'énergie produite par la biomasse satisfait-elle les besoins des Français ? **Justifier**. Quelle solution peut-on envisager ?

Pratiques agricoles et environnement

Nous savons que la biomasse végétale issue de l'agriculture est produite dans un but alimentaire ou énergétique.



Quelles sont les conséquences des pratiques agricoles sur l'environnement ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer que l'agriculture engendre diverses concurrences entre cultures et biodiversité, entre cultures alimentaires et énergétiques.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : observer et raisonner.



L'agriculture nécessite des sols cultivables

1 La remise en question des agrocarburants.

a. Production d'éthanol au Brésil.

« Deuxième producteur mondial d'éthanol, le Brésil souhaite imposer son agrocarburant sur le marché international. Mais des mouvements sociaux brésiliens et étrangers ont dressé une liste des impacts négatifs. Ces organisations soulignent notamment les menaces à la sécurité alimentaire mondiale, la production industrielle des agrocarburants entrant en concurrence avec les sols et l'eau destinés à l'agriculture vivrière*.

Par exemple, dans l'État de Sao Paulo, où se concentrent deux tiers de la production d'éthanol, la progression de la canne, entre 1990 et 2003, a fait reculer d'autant les surfaces de maïs, haricot noir, riz, blé, oranges, café et coton ».

Première conférence internationale sur les biocarburants, Sao Paulo, novembre 2009.



b. Production de carburant à partir de canne à sucre, au Brésil, dans l'État de Sao Paulo.

2 Concurrence entre biomasse « source alimentaire » et biomasse « source d'énergie ».

a. La production alimentaire diminue au profit de la production de biocarburant.

« ... La culture du maïs, développée pour produire de l'éthanol, a conduit d'abord aux États-Unis, puis ailleurs, à un envol des prix de la céréale. On comprend alors la crise de la « tortilla » (galette à base de semoule de maïs) au Mexique. Le maïs représente 60 % ou plus du budget de base de nombreux Mexicains : ils ont beaucoup souffert en 2007 de la hausse brutale de son prix. Selon Lester Brown, il faut 2,5 quintaux de maïs pour faire le plein d'un 4x4, soit 100 litres. Avec la même quantité de maïs, on nourrit un paysan mexicain pendant un an. Manger ou conduire, il faut choisir ! »

L'agriculture peut-elle nourrir le monde ? Jean-Paul Charvet, 2009.



b. Station distribuant de l'éthanol.

Pays \ Année	1985	1990	1995	2000	2003
Argentine	128 391	127 388	127 938	128 667	128 747
Brésil	231 041	241 608	258 472	261 406	263 600
Colombie	45 375	45 083	44 513	45 465	45 911
Mexique	100 000	103 400	107 200	107 300	107 300
Amérique latine (total)	674 033	695 207	717 856	722 836	726 144

3 Évolution des surfaces agricoles de 1985 à 2003 en Amérique du Sud (milliers d'hectares).

Le taux de déforestation reste alarmant dans de nombreux pays. Au Brésil, la culture de canne à sucre repousse la frontière agricole vers l'Amazonie et inquiète les écologistes (FAO).

B L'agriculture grande consommatrice d'eau douce

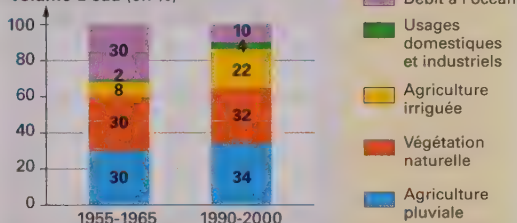


4 L'utilisation de l'eau en agriculture.

Aujourd'hui, l'agriculture absorbe plus de 70 % de l'eau consommée dans le monde. Cette consommation conséquente dans ce secteur peut s'expliquer par différentes raisons :

- l'élevage dont le régime alimentaire implique la mobilisation de grandes quantités d'énergie et d'eau ;
- l'irrigation massive dans le but d'assurer des rendements maximaux ;
- l'accroissement de la population qui nécessite la production de plus grandes quantités de denrées alimentaires.

Volume d'eau (en %)



5 Évolution des besoins en eau entre 1955 et 2000 (Inde). L'agriculture pluviale comporte une irrigation qui repose sur la récupération et le stockage des eaux de pluie.

6 L'eau au cœur des conflits au XXI^e siècle.



a. Le Nil. De nombreux pays (Égypte, Éthiopie, Tanzanie, Soudan...) doivent se partager les eaux de ce fleuve.

b. Le partage des eaux d'un fleuve par divers États.

L'Égypte se montre très réticente à partager les eaux du Nil. L'Éthiopie, la Tanzanie et le Soudan, confrontés à une augmentation constante de leur population, veulent accroître leur surface agricole irriguée. L'Égypte, de son côté, affronte les mêmes difficultés, car l'importation de céréales pour nourrir sa population lui coûte de plus en plus cher et creuse son déficit commercial.



c. Bassin du Nil.

VOCABULAIRE

Agriculture vivrière : ensemble des cultures servant à nourrir les hommes.

SITES À CONSULTER

- <http://www.education-developpement-durable.fr>
- http://www.cafe-geo.net/article.php?id_article=1538
- <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y3918F/Y3918F03.htm>

EXPLOITATION

1. À partir des documents 1 et 2, **montrer** comment la production de biomasse « source d'énergie » entre en concurrence avec la production de biomasse « source de nourriture ».

2. À l'aide du document 3, estimer, puis commenter l'évolution de la surface agricole au Brésil entre 1985 et 2003. **Expliquer** comment la culture de biomasse « source d'énergie » entre en concurrence avec la biodiversité.

3. **Extraire** du document 4 les causes de la consommation importante d'eau par l'agriculture.

4. À partir du document 5, **montrer** l'impact de l'agriculture indienne sur les ressources en eaux du pays. **Justifier** la réponse.

5. À partir du document 6, **montrer** qu'un partage de l'eau sur la planète est indispensable et qu'il peut engendrer des conflits. **Justifier** la réponse.

Sols cultivables et eau : deux ressources fragiles et inégalement réparties

Nous savons que l'augmentation de la population mondiale génère une demande croissante en nourriture et en énergie. De nombreux pays, préparant l'après-pétrole, commencent à produire des agrocarburants issus de produits agricoles. L'agriculture qui en découle requiert davantage de sols cultivables et d'eau.

H Quelles sont, dans le monde, la répartition et la disponibilité des sols et de l'eau ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : montrer que l'agriculture utilise deux ressources inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations ; communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

Les terres cultivables

1 Besoins en carburants issus de la biomasse et besoins alimentaires.

- a. Une compétition entre cultures alimentaires et énergétiques.

La population mondiale devrait atteindre un maximum, avant de régresser, en 2050. Pour nourrir alors 9 milliards de personnes, il faudra doubler la production agricole. Mais l'agriculture mondiale ne pourra assurer à la fois l'alimentation, la production en carburant et la préservation de la biodiversité [...].

Les conditions climatiques, la nature des sols, la présence d'eau, la durée des périodes de moisson rendent inégales les performances des terres cultivables selon les continents. Aujourd'hui, 75 % des terres cultivables sont déjà utilisées en Asie, 87 % en Afrique du Nord et de l'Ouest, 53 % en Russie, 44 % en Europe, en Amérique du Nord et au Japon. En revanche, il existe d'importantes marges de manœuvre en Amérique latine où 19 % des terres cultivables sont utilisées et en Afrique subsaharienne (22 %). Mais ce serait au prix de la déforestation de l'Amazonie et du bassin du Congo !



b. Une unité de production d'agrocarburant. Du bioéthanol est fabriqué à partir de maïs.

2 Agriculture « off shore » et investissement dans les terres arables.

- a. Apparition d'une agriculture « off shore ».

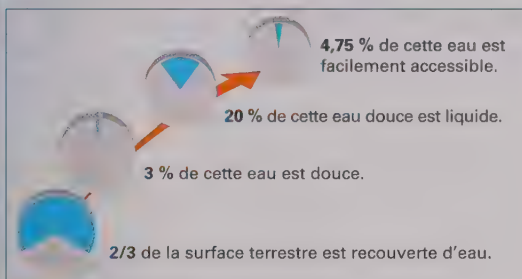
Certains pays développent une production agricole ailleurs que chez eux. La Chine loue des terres en Afrique (au Mozambique), en Asie (aux Philippines, pays qui est pourtant le premier importateur mondial de riz), en Australie dans le Queensland, au Kazakhstan... Elle introduit des techniques et des agriculteurs chinois. Les pays du golfe Persique, inquiets de la hausse du prix du riz, principale source alimentaire de leur main-d'œuvre immigrée, essaient d'acheter ou de louer des terres en Asie ou en Afrique... La Corée du Sud achète des terres en Sibérie orientale, en Mongolie !

Cela montre que l'on est devant une pénurie de terres.

L'agriculture peut-elle nourrir le monde ? Jean-Paul Charvet, Mulhouse, 17 février 2009.

- b. Investissement dans les terres arables.

La course à la terre s'est intensifiée après la flambée des prix des denrées alimentaires en 2007-2008. Les pays pauvres en ressources, mais riches en réserves monétaires, se sont alors tournés vers l'acquisition ou la location de terres à grande échelle pour assurer leur sécurité alimentaire.



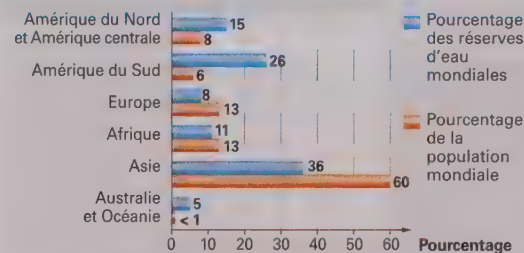
3 L'eau douce accessible.

5 La détérioration environnementale d'une ville en voie de développement.

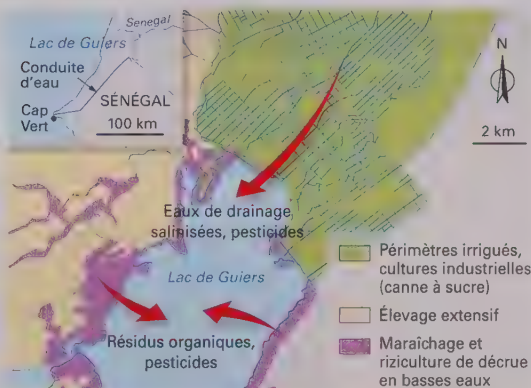
a. Le transfert d'eau du lac de Guiers à Dakar.

L'alimentation en eau de Dakar est assurée jusqu'en 2012 par des pompages à 300 km de Dakar, dans le lac de Guiers, alimenté par le fleuve Sénégal. Mais les aménagements hydro-agricoles du fleuve et les multiples usages du lac de Guiers peuvent devenir incompatibles avec la fourniture d'eau potable pour Dakar. Car, au pastoralisme, à la riziculture et au maraîchage, pratiqués sur les berges à la décréue, s'ajoute l'agro-industrie irriguée et intensive. Un office de gestion des eaux a été créé depuis 2008.

b. Activités agricoles autour du lac de Guiers.



4 Répartition de la population et des ressources en eau.



6 Gérer la demande en eau agricole.

En 1989-90 et 1991, des sécheresses successives ont amené les législateurs français à revoir la gestion de la demande en eau et à élaborer la « loi sur l'eau de 1992 ». Celle-ci a instauré le principe d'une gestion équilibrée de la ressource en eau en France, assurant à la fois la protection des milieux aquatiques et la satisfaction de l'ensemble des usages. Pour parvenir à cet équilibre, les outils réglementaires préexistants – autorisations annuelles et interdictions temporaires de prélèvements – sont harmonisés et renforcés par la nouvelle loi.

Les dispositifs de comptage des volumes d'eau prélevés deviennent obligatoires pour tous les usages et sont mis en place progressivement.

Il faut gérer, au mieux, la demande en eau et favoriser les pratiques d'économie d'eau sans mettre en danger les exploitations agricoles.

EXPLOITATION

1. À partir des documents 1 et 2, **montrer** l'inégale disponibilité des terres cultivables aujourd'hui dans le monde. **Argumenter** en soulignant les facteurs qui conditionnent cette disponibilité.

2. À l'aide du document 1, **recenser** les conséquences environnementales liées à l'augmentation de la production agricole.

3. À l'aide du document 3, **montrer** que la quantité d'eau douce à la surface de notre planète est limitée. **Justifier** la réponse en **calculant** le pourcentage d'eau douce accessible sur notre planète.

4. À partir du graphe du document 4, **calculer** le rapport ressource en eau/population, pour chaque région, puis **montrer** que l'accessibilité à l'eau est inégale à la surface de la Terre. **Argumenter** la réponse.

5. D'après les documents 5a et 5b, **expliquer** la dégradation de la qualité de l'eau qui alimente Dakar. Souligner la responsabilité de l'Homme vis-à-vis de l'intégrité de son environnement.

6. À l'aide du document 6, **indiquer** les mesures prises en France pour gérer la demande en eau agricole depuis 1992.

1 L'Homme utilise la biomasse à son profit



1 La biomasse : une source d'énergie renouvelable.

- Les végétaux chlorophylliens, grâce à la **photosynthèse**, sont à l'origine de tous les réseaux trophiques dont ils constituent le premier maillon.
- La **biomasse** représente la masse totale de matière vivante par unité de surface dans un écosystème. On lui attribue aussi un autre sens : ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie.
- Certaines cultures, dites « alimentaires », servent à **nourrir l'humanité** (céréales, fruits et légumes). D'autres, dites « **énergétiques** » (colza, tournesol, canne à sucre, bois...), fournissent chaleur, électricité ou encore agrocarburant (**doc. 1**).
- Ainsi, l'Homme, par le biais de l'agriculture, exploite le pouvoir photosynthétique des végétaux pour, d'une part, nourrir les Hommes et, d'autre part, produire des énergies renouvelables (**activité 1**).

⇒ (Questions de sciences p. 170)

2 Des pratiques agricoles qui affectent l'environnement

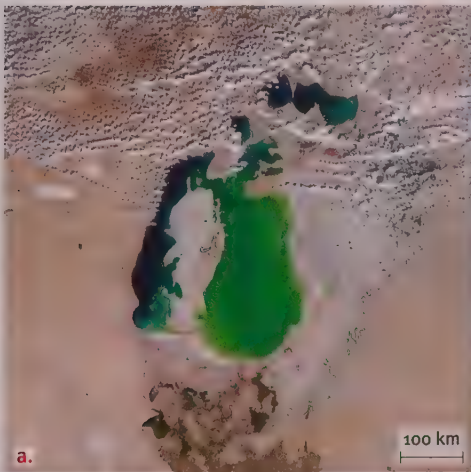


2 Produire du maïs pour se nourrir ou se déplacer ?

- L'agriculture nécessite des **sols cultivables** et une **irrigation** importante.
- La culture des sols occupe un espace dont ne pourront plus disposer les espèces naturelles. Celles-ci sont également privées de l'eau consommée par les cultures. L'agriculture entre en **concurrence** avec la biodiversité naturelle. Elle engage la responsabilité de l'Homme en matière environnementale.
- Pour les mêmes raisons de surface de sols et de quantité d'eau disponible limitées, les cultures énergétiques concurrencent les cultures alimentaires. Un sol occupé par une culture énergétique n'est pas utilisé pour nourrir les Hommes (**doc. 2**). ⇒ (Questions de sciences p. 167)
- Le développement d'une culture au détriment d'une autre peut engendrer des modifications importantes du prix de certaines denrées et, ainsi, entraîner des difficultés d'approvisionnement pour divers pays.
- Le partage de l'eau d'un fleuve entre deux pays frontaliers peut être source de conflit (**activité 2**).
- La **gestion** de ces deux ressources, **sols et eau**, est donc un grand enjeu de société à l'échelle planétaire.

Sols cultivables et eau, deux ressources fragiles et inégalement réparties

- Les terres fertiles et les réserves d'eau douce sont **réparties de façon inégale** selon les pays. Il faut également prendre en compte, dans la gestion de ces ressources, la population de chacun des pays.
- De plus, ces ressources sont limitées, fragiles et rapidement dégradables. La **déforestation** pour libérer des terres est encore pratiquée. Les sols mis à nu sont dégradés et deviennent vite inexploitable.
- Localement, des réserves d'eau douce (souterraine ou non) se tarissent ou sont polluées par les engrais ou pesticides utilisés par l'agriculture intensive (doc. 3).
- Tous ces faits sont autant d'arguments qui plaident en faveur d'une **gestion raisonnée** des ressources de notre planète, à l'échelle mondiale (**activité 3**).
- L'espèce humaine, pour subsister, doit couvrir ses **besoins alimentaires et énergétiques**, mais elle doit, en même temps, veiller à préserver son milieu de vie. Ce sont les enjeux actuels de notre société : celle du développement durable.



3 Assèchement de la mer d'Aral.

a. La mer d'Aral en 2000. **b.** La mer d'Aral en 2009.

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Culture des sols et concurrence avec la biodiversité



La **biomasse** est issue de l'énergie solaire par le biais de la **photosynthèse** réalisée par les végétaux chlorophylliens.

La biomasse végétale est produite par l'agriculture pour :

- nourrir les hommes ;
- produire de l'énergie (chauffage, électricité et agrocarburants).

Ainsi, l'Homme utilise-t-il à son **profit** la photosynthèse.

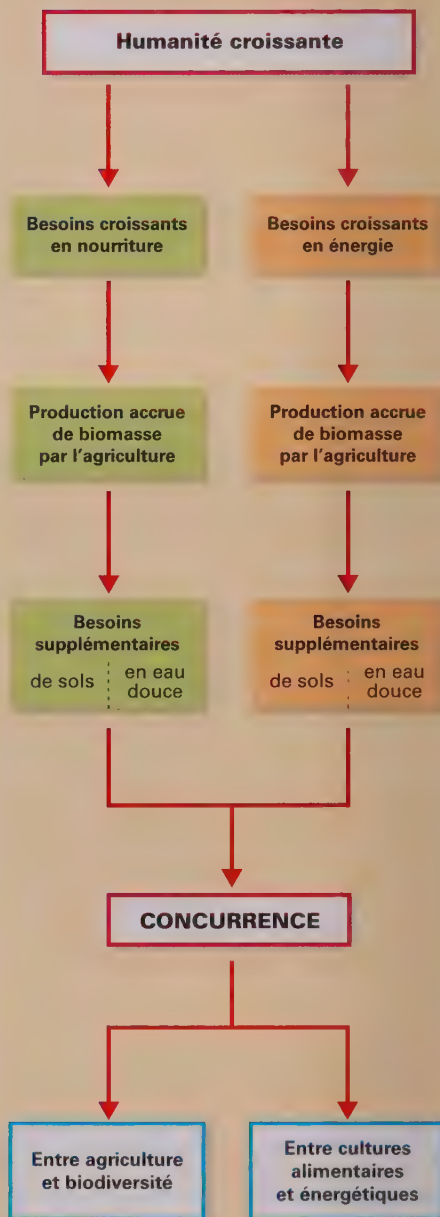
L'agriculture a besoin pour cela de **sols cultivables** et d'**eau**.

Sols fertiles et eau sont deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, **fragiles** et **disponibles en quantités limitées**.

Les besoins de l'agriculture sont satisfaits au détriment de ceux de la biomasse naturelle. L'agriculture entre en **compétition** avec la biodiversité naturelle.

L'exploitation de la biomasse comme source d'énergie met en concurrence les **cultures alimentaires** et les **cultures énergétiques**.

■ Les conséquences de la production accrue de biomasse par l'agriculture



CAPACITÉS ET ATTITUDES

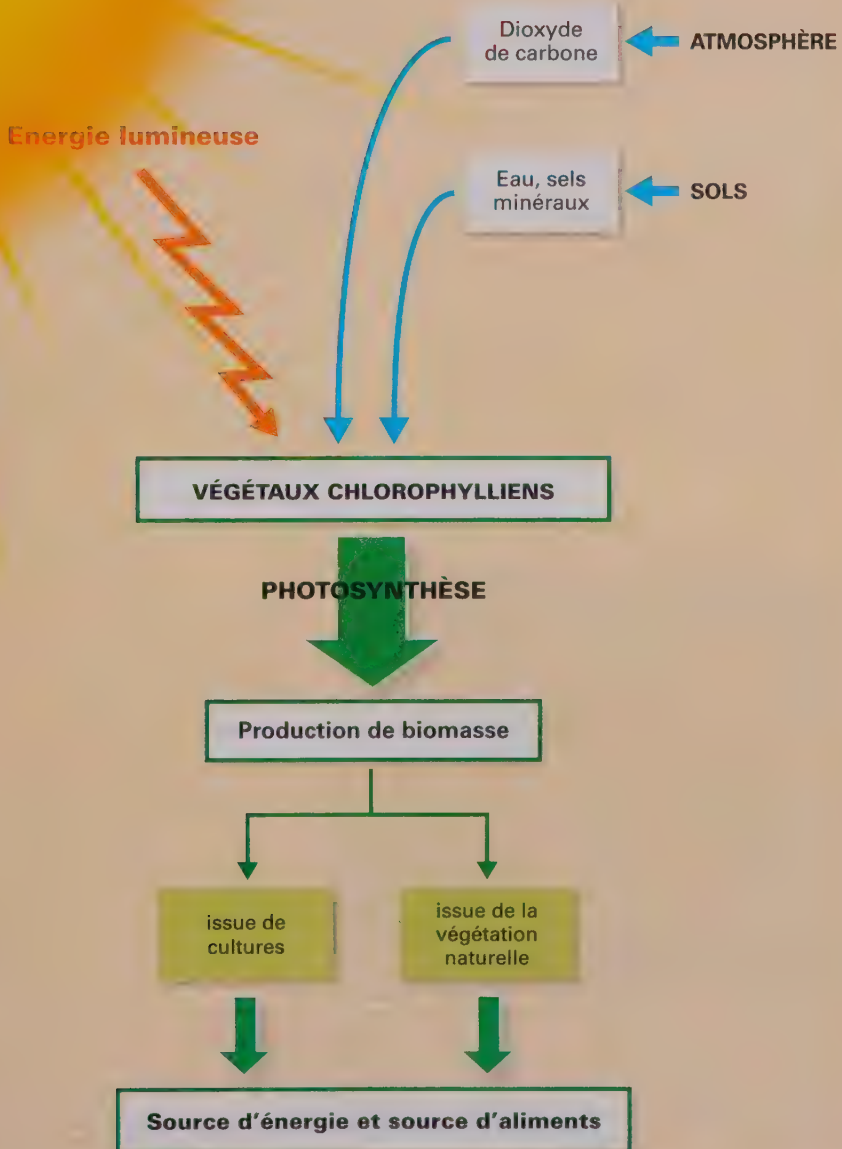
■ Recenser, extraire et organiser des informations.

■ Pratiquer une démarche scientifique : observer et raisonner.

■ Communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

■ Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement.

■ Utilisation de la biomasse par l'Homme



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** La biomasse est :
1. composée de végétaux et d'animaux.
 2. une source de chaleur.
 3. indépendante de l'énergie solaire.
- b.** Lorsqu'on exploite la biomasse :
1. on nourrit les hommes.
 2. on enrichit les sols.
 3. on consomme de l'eau.
- c.** Les biocarburants :
1. sont produits à partir du vivant.
 2. représentent une énergie fossile.
 3. peuvent concurrencer les cultures alimentaires.
- d.** Les énergies renouvelables :
1. ont une vitesse de formation supérieure à leur vitesse d'utilisation.
 2. ont une vitesse de formation inférieure à leur vitesse d'utilisation.
 3. sont l'éolien, le solaire, l'hydraulique, la biomasse.

2 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Biomasse **b.** Énergie renouvelable **c.** Agrocarburant
d. Déforestation **e.** Agriculture « off shore »

3 Restitution organisée de connaissances

Répondre aux questions suivantes.

- a.** Expliquer comment l'Homme détourne à son profit le pouvoir photosynthétique des végétaux chlorophylliens.
- b.** Montrer la nécessité d'une gestion des ressources en eau et en terres cultivables pour la survie de l'Homme et de sa planète.

4 Construction d'une phrase

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a.** Biomasse, énergie solaire, photosynthèse, chlorophylle.
b. Biomasse, énergie, alimentation.
c. Agriculture, sols, eau.
d. Terres cultivables, eau, répartition inégale.
e. Ressources fragiles, gestion, survie, Homme, planète.

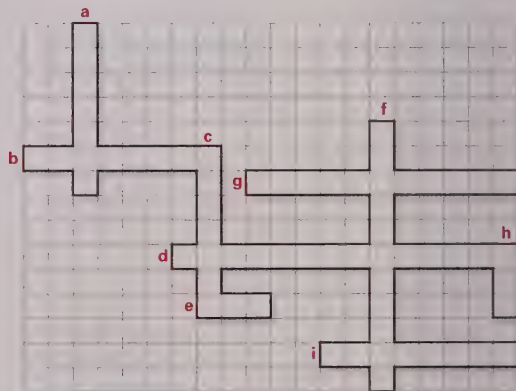
5 Mots croisés



EXERCICE CORRIGÉ

Trouver les mots correspondant aux définitions, puis les placer dans la grille.

- a.** Alcool produit au Brésil comme agrocarburant à partir de canne à sucre.
- b.** Ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie.
- c.** Désigne tout ce qui permet d'effectuer un travail, produire de la chaleur, de la lumière.
- d.** Carburants produits à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse.
- e.** Elle est présente sur la planète Terre et est essentielle à la vie de tous les organismes vivants.
- f.** Ensemble des travaux sur le milieu naturel permettant de produire de la biomasse.
- g.** Relation existant entre cultures alimentaires et cultures énergétiques.
- h.** Couche superficielle de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche mère, enrichie par des apports organiques.
- i.** Plantes largement cultivées dont on tire des farines, des graines utilisées dans l'alimentation de l'Homme et des animaux.



6 Construire un organigramme

Représenter les relations entre les mots suivants :

- a.** Biomasse **b.** Agriculture **c.** Énergie
d. Sols **e.** Eau **f.** Concurrence
e. Alimentation

Analyser des documents

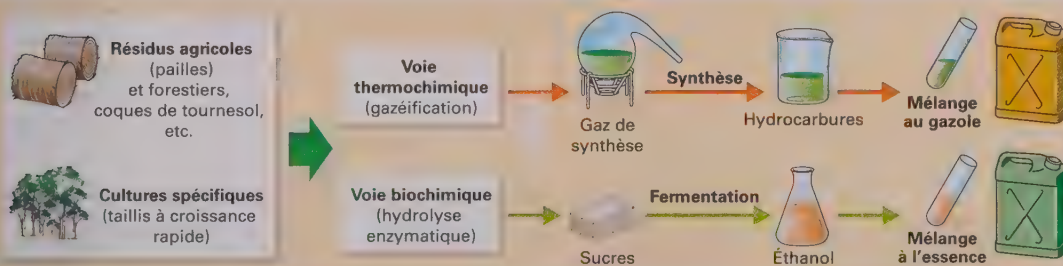
7 Les biocarburants de « deuxième génération »



1 Une nouvelle génération d'agrocarburants.

Depuis 2008, ont été supprimés du cadre de l'Agence nationale de la recherche (ANR) tous les projets se rapportant aux biocarburants de première génération. Ces derniers utilisent des parties comestibles de végétaux et ont, en effet, été vivement critiqués pour leur durabilité et leur compétition avec l'alimentation humaine.

Les procédés de deuxième génération, qui visent à utiliser l'intégralité de la plante, ou les résidus de culture ou forestiers, ont donc le vent en poupe. Ils permettraient d'augmenter à la fois le rendement et le bilan environnemental des biocarburants.



2 Deux voies de production de biocarburants.

3 La fabrication de biocarburants.

a. Deux modes de production de biocarburants.

Les technologies permettant de produire du biocarburant à partir d'autres matières organiques (carcasses, déchets, huiles usagées) existent d'ores et déjà. Mais les recherches portent actuellement sur la possibilité d'industrialiser des technologies, existantes en laboratoire, permettant d'extraire des biocarburants des résidus de culture (paille) ou de bois (sciure), voire du bois lui-même : c'est la filière « ligno-cellulosique ». Il s'agirait également de rendre exploitables certaines espèces présentant un bon potentiel énergétique : *Miscanthus*, switchgrass, peuplier, saule, robinier en zone tempérée, jojoba en zone tropicale. Deux modes d'exploitation sont possibles : la voie « sèche » qui permet d'extraire un gaz, qui doit être ensuite liquéfié, en chauffant la biomasse (le rendement énergétique est assez faible) ; la voie « biologique » qui expose la biomasse à l'action de micro-organismes mais ne produit que de l'éthanol.

Le Monde Économie, 3 avril 2007.



b. Fabrication de biocarburant à partir de l'exploitation du *Miscanthus*.

a. À partir de l'analyse et de la mise en relation des documents 1 et 3, justifier l'intérêt pour l'Homme de produire des agrocarburants de deuxième génération.

b. À partir de l'analyse et de la mise en relation des documents 2 et 3, présenter les modes de production de ces biocarburants.

8 Des algues à l'origine d'agrocarburants

EXERCICE CORRIGÉ

Les algocarburants.

Des chercheurs ont constaté de nombreux obstacles environnementaux pour que les biocarburants à base d'algues soient un jour économiquement viables. La production d'algocarburant consomme plus d'énergie – participant ainsi à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre – et consomme plus d'eau que les autres sources de biocarburants. Bien qu'elles aient plus d'impact sur l'environnement que les autres biocombustibles, les algues restent une source d'énergie intéressante, car elles ne rentrent pas en concurrence avec les

cultures agricoles destinées à l'alimentation. Les algues produisent des rendements plus élevés que ceux à base de maïs ou de switchgrass. Par ailleurs, elles possèdent une teneur élevée en lipides qui, avec un raffinage optimal, pourrait conduire à produire des bioalgues capables d'alimenter les véhicules hybrides. La production d'algues pourrait avoir lieu dans des étangs en relation avec des stations de traitement des eaux usées qui fourniraient le phosphore et l'azote, éléments essentiels pour la croissance des algues.

a. À partir de l'analyse du texte, recenser les inconvénients liés à l'exploitation des algocarburants.

b. Montrer ce qui peut justifier quand même l'utilisation de ces algues. Argumenter la réponse.

9 La déforestation aujourd'hui...



Perte nette de forêt (ha/an)

- Supérieure à 500 000
- De 250 000 à 500 000
- De 50 000 à 250 000

Faible changement (gain ou perte)

- Inférieur à 50 000

Gain net de forêt (ha/an)

- De 50 000 à 250 000
- De 250 000 à 500 000
- Supérieure à 500 000

Changement net de superficie forestière par pays entre 2005 et 2010 (ha/an).

a. Analyser le document afin de décrire l'évolution de la superficie forestière en Amérique du Sud et en Océanie. Justifier la réponse.

b. À l'aide de vos connaissances, proposer une explication à cette évolution. Que peut-on en déduire quant à la biodiversité de ces régions du monde ?

10 Les biocarburants ou « énergie verte » : une solution viable à terme ?

Produire des biocarburants consomme de l'énergie fossile (pour l'agriculture et le transport qui se fait par bateau et camion), transformer les végétaux consomme beaucoup d'eau (pour traiter une tonne de canne à sucre, il faut 4 000 litres d'eau) et les cultures pour les biocarburants entrent en compétition avec les cultures nécessaires à l'alimentation de l'Homme.

Si 2 milliards d'hommes utilisaient les biocarburants pour leur automobile, il faudrait mettre en culture pour les produire 150 millions d'hectares, soit la surface des terres labourables de la planète. 200 kilos de maïs sont nécessaires pour faire le plein d'un 4x4. Enfin une baisse corrélative de la biodiversité consécutive

à la mise en culture d'espaces aujourd'hui occupés par les forêts et les zones humides est prévisible. En revanche, un atout compte : les coûts de production dérisoires de la transformation de la canne à sucre du Brésil et des fruits des palmiers à huile d'Indonésie ; la première est une plante pérenne installée pour une dizaine d'années et le palmier pour une cinquantaine d'années.



Atlas des développements durables, Éditions Autrement, 2008.

a. Recenser les avantages et les inconvénients liés à la production de biocarburants.

b. Expliquer pourquoi cette énergie verte ne peut être la seule développée pour répondre aux besoins de l'humanité.

11 La mer d'Aral : un désastre écologique

1 L'assèchement d'une mer.

Le Syr Daria et l'Amou Daria sont deux fleuves au débit impressionnant qui prennent naissance dans les hautes montagnes d'Asie centrale. Après avoir traversé les déserts du Kyzylkoum et du Karakoum, ils se jettent dans la cuvette de la mer d'Aral où règne une forte évaporation. La culture irriguée du coton était traditionnelle, notamment dans la vallée du Syr Daria.

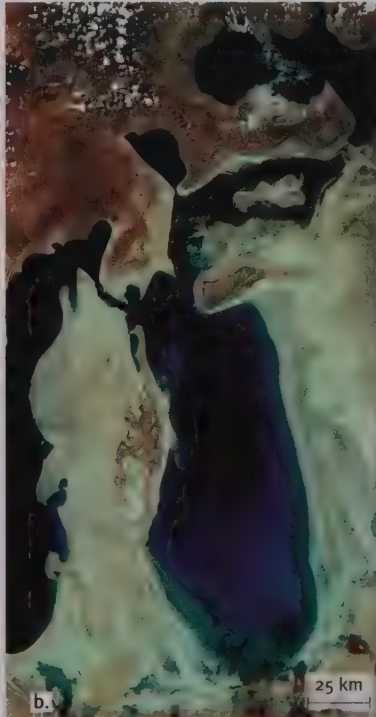
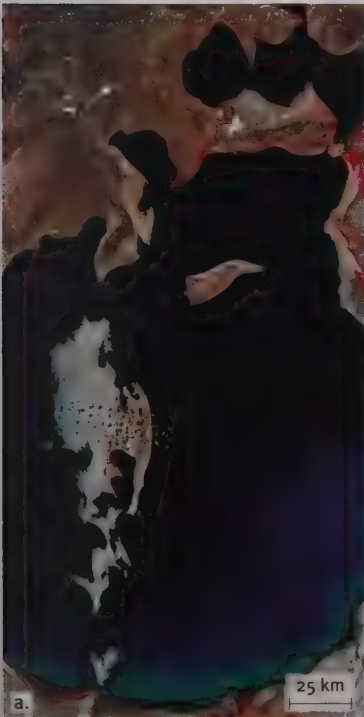
L'année 1959 est une date capitale avec la mise en place du plan de conquête des terres vierges. Plus de 7 millions d'hectares sont aménagés pour l'irrigation aussi bien dans les deux vallées que dans les régions désertiques. L'irrigation prélève 60 % du débit des fleuves. Au moins 95 % de la récolte cotonnière de l'ex-Union soviétique pousse dans cette région. Avant 1960, les deux fleuves apportaient 55 km³ d'eau par an à la mer d'Aral. En 1990, cet apport était réduit à 7 km³. Les fleuves sont pratiquement asséchés dans leur cours inférieur.

2 Les conséquences du prélèvement des eaux.

Les conséquences sont dramatiques. En certains endroits, le littoral de la mer d'Aral a reculé de 100 km. Le niveau des eaux a baissé de 16 mètres. La mer d'Aral a perdu la moitié de sa surface et les trois quarts de son volume.

Ses eaux sont polluées par les engrais et les pesticides, et la salinité est passée de 10 à 30 ‰ au détriment de la faune et de la flore. Les populations d'oiseaux aquatiques ont été décimées. L'eau est désormais impropre à la consommation humaine. Les villages sont abandonnés. Muynak, jadis ville de 40 000 habitants, n'en compte plus que 12 000.

« De l'eau pour tous », G. Mutin, *Revue Documentation photographique*, avril 2000.

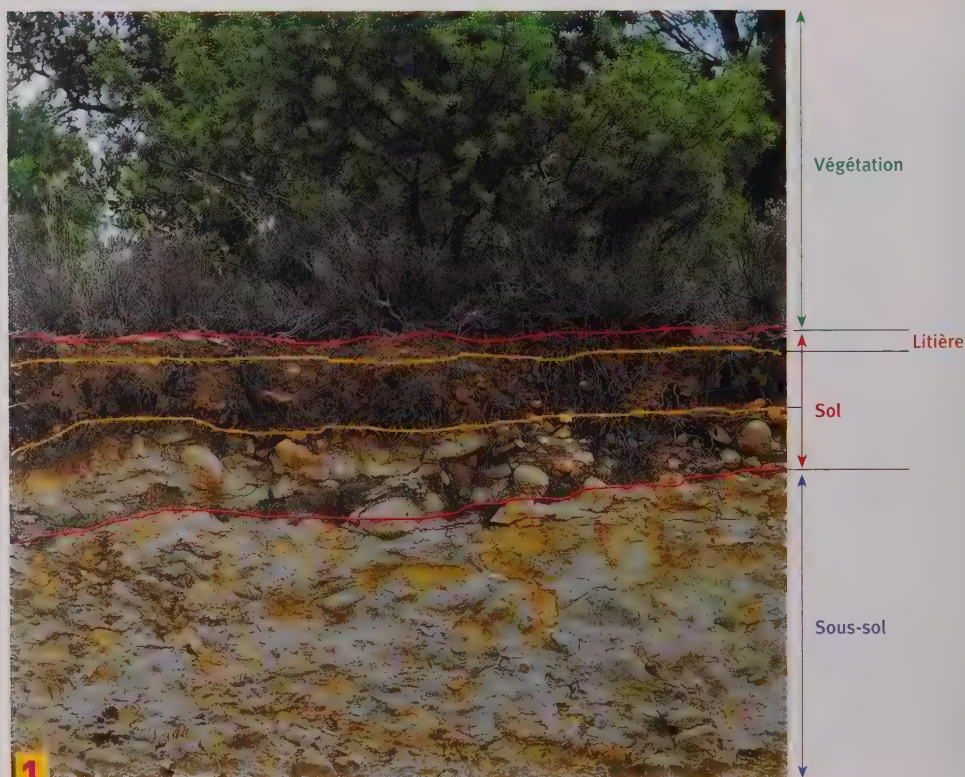


3 Mer d'Aral : vues satellitaires.

- a. La mer d'Aral vue en 1989.
- b. La mer d'Aral vue en 2006.

- a. Utiliser les documents 1, 2 et 3 pour montrer les impacts du déploiement de l'agriculture sur l'environnement de cette région du globe.
- b. Pourquoi la mer d'Aral s'est-elle asséchée en quelques années ?
- c. Quelles solutions l'Homme peut-il envisager pour préserver les réserves d'eau douce ?

➤ Il n'y a pas de développement des sociétés sans utilisation des sols. À l'interface de l'atmosphère, de la biosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère, les sols de notre planète jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes, dans le cycle de l'eau ainsi que dans celui du carbone. Le sol est fragile, il nécessite une gestion raisonnée.



1

Délimitation d'un sol.

Le sol est constitué par la couche de terrain comprise entre la végétation et le sous-sol rocheux qui lui a donné naissance.

Son épaisseur peut varier de quelques centimètres à quelques décimètres.

Comment et dans quelles conditions se forme un sol ?

ressource fragile



2

Évolution des pratiques agricoles.

- a. Pratiques culturelles traditionnelles : des ânes sont employés pour le battage de l'orge.
- b. Forte mécanisation agricole : une moissonneuse batteuse permet de récolter de grandes surfaces de blé. La mécanisation associée au remembrement (regroupement des parcelles de terres agricoles) et l'utilisation de semences sélectionnées, d'engrais et de pesticides a permis l'intensification de l'agriculture moderne.

Quelles sont les conséquences de l'exploitation des sols par l'agriculture moderne ?



3

L'avancée du désert.

La sécheresse en Chine s'intensifie. La surexploitation des sols et le manque d'apport de matière organique, remplacée par les engrais, aboutissent à un appauvrissement des sols.

Au niveau mondial, près d'un tiers des terres cultivables ont disparu au cours des quarante dernières années. La planète perd chaque année entre 100 000 et 200 000 km² de terres cultivables.

« Les forêts précèdent les Hommes, les déserts les suivent. » Chateaubriand

Comment continuer à exploiter les sols tout en préservant leurs qualités ?

Caractéristiques d'un sol

Nous savons que le sol se situe à l'interface entre l'atmosphère et la lithosphère. Il est constitué de plusieurs couches superposées d'épaisseur variable.



Quelles sont l'organisation et la composition d'un sol ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre quelle est l'organisation d'un sol et quelle est sa composition.
- **Capacités** : observer, manipuler et expérimenter.

A

La stratification d'un sol en plusieurs horizons

Les pédologues, spécialistes de l'étude des sols, ont défini des critères permettant de caractériser les horizons d'un sol.

1 Les différentes couches (ou horizons) qui composent un sol.



a. Une coupe de sol. Elle montre des couches superposées, appelées horizons, de couleur, d'épaisseur et de composition différentes. Sous l'horizon C se trouve la roche-mère qui a donné naissance au sol. Elle ne fait pas partie du sol. Elle relève du domaine de la géologie alors qu'un sol appartient au domaine de la pédologie.

b. Nomenclature conventionnelle et caractéristiques des différents horizons.

A₀ : litière. Elle est composée essentiellement de débris végétaux (branches, feuilles, graines, fruits...) et animaux (excréments, cadavres...) ainsi que d'un grand nombre d'êtres vivants de taille diverse (lombrics, bactéries, champignons...).

A₁ : horizon humifère. Il est riche en humus* de couleur foncée provenant de la dégradation de la matière organique de la litière. Cet horizon contient également quelques débris de roches.

B : horizon d'accumulation. Il est constitué par des éléments des horizons supérieurs qui, lessivés (entraînés en profondeur) par l'eau d'infiltration, s'y accumulent.

C : horizon d'altération de la roche-mère. C'est l'horizon le plus profond d'un sol.

Le nombre d'horizons est variable d'un sol à l'autre.

VOCABULAIRE

Humus : fraction de la matière organique qui reste dans le sol après décomposition de la plus grande partie des débris végétaux et animaux incorporés dans le sol. Ces matières ont généralement une couleur foncée.

Protozoaires : animaux unicellulaires.

Collemboles : insectes sans ailes à l'état adulte.

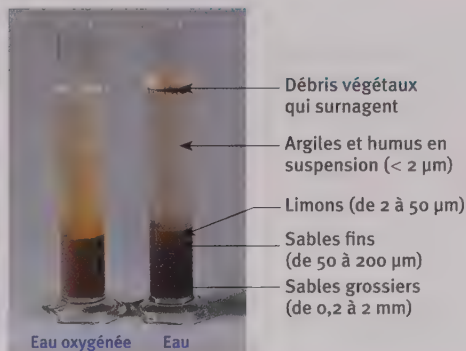
B Étude pratique de quelques caractéristiques d'un sol

Sur le terrain, des échantillons de chaque horizon du sol peuvent être prélevés et faire l'objet d'analyses en laboratoire.

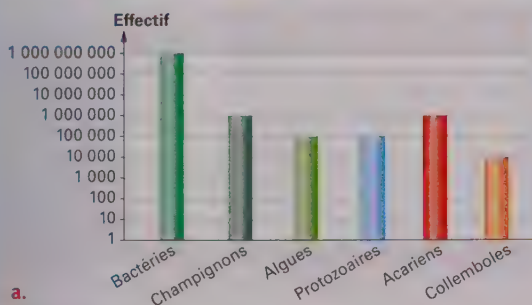
2 Sédimentation d'un sol et mise en évidence des principaux constituants solides.

Protocole

1. Dans une éprouvette graduée de 500 mL, mettre 100 mL d'un sol préalablement tamisé avec un tamis de 2 mm. Ajouter 400 mL d'eau. Agiter pendant quelques minutes, puis laisser décanter.
2. Dans une autre éprouvette, après avoir mis des gants, traiter le même volume de sol avec de l'eau oxygénée à 20 volumes. On assiste alors à une effervescence et à une décoloration due à la destruction de la matière organique. Lorsque l'eau oxygénée n'agit plus, agiter et laisser décanter comme précédemment.



C La composition du sol

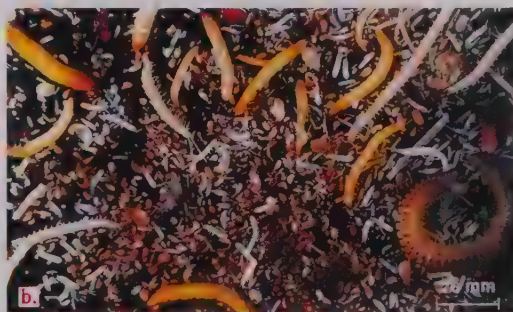


4 Les êtres vivants d'un sol.

Le sol contient de l'air et de l'eau indispensables à la vie des millions d'êtres vivants qu'il héberge.

a. Effectifs moyens pour différents êtres vivants dans un gramme de sol. À cela s'ajoutent plusieurs dizaines de vers de terre et plusieurs dizaines de mètres de racines par mètre carré de sol.

b. Microfaune (petits animaux) du sol observée à la loupe binoculaire (x 2).



3 Les différents constituants d'un même sol mesurés en hiver et en été.

La matière vivante est incluse dans la matière organique. Elle représente moins de 0,1 % mais son rôle est fondamental.

EXPLOITATION

1. Réaliser un schéma d'une coupe de sol. Estimer, pour chaque horizon, son épaisseur (doc. 1).

2. Expliquer la répartition des particules d'un sol à l'issue de l'expérience (doc. 2). Que montre l'ajout d'eau oxygénée (doc. 2) ?

3. Comparer la composition du sol en été et en hiver (doc. 3).

4. Commenter la phrase : « Le sol est un milieu vivant. » (doc. 4).

Les conditions de formation d'un sol

Nous savons que le sol possède trois composantes : minérale, biologique et organique. Un sol est un écosystème en constante évolution.



Comment se forme un sol ? Quels sont les facteurs impliqués dans sa formation ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre la formation d'un sol et connaître les facteurs qui la conditionnent.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations ; communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

A La genèse d'un sol

1 Formation de la composante minérale du sol.



a. Altération d'un granite (roche-mère).

b. La décomposition de la roche-mère.

Les agents climatiques tels que le vent, le gel ou l'eau fractionnent la roche en fragments de plus en plus petits, qui conservent la composition minéralogique de départ. Il s'agit de **désagrégation physique**.

L'eau, souvent associée au dioxyde de carbone, change la nature de certains minéraux de la roche lors d'une réaction d'hydrolyse qui aboutit à des composés plus simples. Il s'agit de l'**altération chimique**.

c. Formation de l'arène granitique.

Un granite est une roche comportant de nombreux minéraux, principalement du quartz, des micas et des feldspaths.

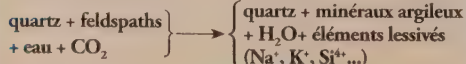
Le quartz est inaltérable, mais les feldspaths sont altérables et se transforment en argiles.

Roche-mère

(Granite)

Sol

(Arène granitique)



a.

b.

2 Formation de la composante organique du sol.

a. Coupe dans la litière d'un sol forestier.

La litière désigne l'ensemble des débris végétaux (feuilles, rameaux...) et animaux (excréments et cadavres d'invertébrés...) en décomposition qui recouvrent le sol.

b. Séquence de transformation d'une feuille morte de hêtre par les êtres vivants de la litière. Les champignons et les bactéries (organismes décomposeurs) transforment la matière organique en constituants minéraux : c'est la minéralisation. Une partie de la matière organique est conservée sous forme d'humus : c'est l'humification.

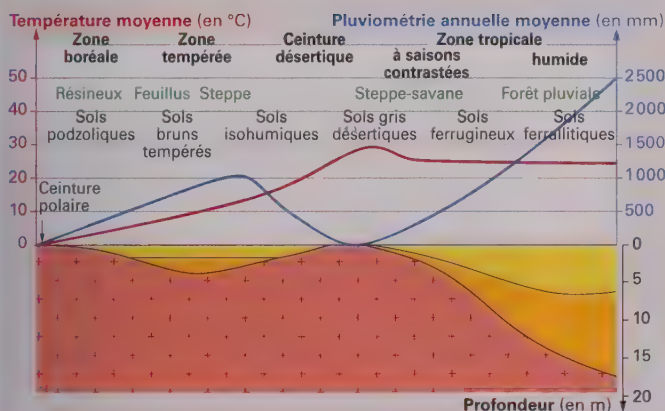
3 Des milliers d'années pour former un sol.



b. Formation des sols.

La formation des sols est un processus extrêmement lent : un centimètre par siècle en moyenne. Les végétaux pionniers favorisent la formation du sol par l'altération de la roche-mère via leur système racinaire et par la matière organique qu'ils apportent. On obtient après plusieurs milliers d'années un mélange de gravier, sable, limon, argile et humus.

a. Colonisation de roches volcaniques par des végétaux pionniers (mousses et lichens).



4 Influence du climat sur la formation des sols.

La nature et l'épaisseur des sols varient selon la latitude (du pôle nord à l'équateur). L'augmentation de la température joue un rôle important dans la formation des sols, en accélérant les réactions biochimiques.

Nature du sol	Sols calcaires	Sols siliceux
Nature de la roche-mère	Calcaire	Grès ou granite
Exemple de plante inféodée à un type de sol sous climat méditerranéen	Pin d'Alep	Pin maritime
Exemple de plante inféodée à un type de sol sous climat montagnard	Rhododendron hirsute	Rhododendron ferrugineux

5 Relations entre végétation et nature du sol.

Certains végétaux ont des exigences particulières. Le Pin d'Alep, le Rhododendron hirsute, le Chêne pubescent... tolèrent la présence d'ions Ca^{2+} à des taux relativement élevés dans un sol calcaire. En revanche, Le Pin maritime, le Rhododendron ferrugineux, diverses bruyères... ne peuvent supporter une teneur élevée en ions Ca^{2+} . Ils fuient les sols calcaires et se développent sur des sols siliceux.

VOCABULAIRE

Pédogenèse : ensemble des processus de différenciation d'un sol aux dépens d'un matériau géologique.

Éléments lessivés : éléments emportés par l'eau.

EXPLOITATION

1. À partir du document 1, **résumer les processus** impliqués dans la formation de la part minérale d'un sol.

2. À partir du document 2, **résumer les processus** impliqués dans la formation de la part organique d'un sol.

3. **Indiquer** quels sont les facteurs qui conditionnent l'implantation du Pin ou du Rhododendron (doc. 5).

4. À partir du document 4, **comparer** la profondeur d'altération de la roche-mère selon la latitude et **indiquer** les facteurs responsables des différences constatées. Trouver des arguments montrant que le climat est un facteur de la formation des sols.

5. À l'aide du document 3, **commenter** le temps nécessaire à la formation du sol. Pourquoi le sol est-il qualifié de ressource non renouvelable ?

Le sol : une ressource fragile à préserver

Nous savons qu'une culture intensive des sols s'est développée pour répondre aux besoins alimentaires et énergétiques de l'humanité. Le sol représente une ressource indispensable à l'Homme.

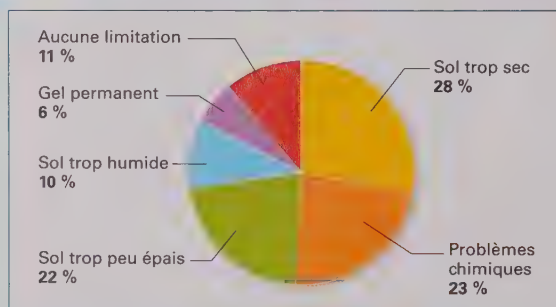


Quelle est l'évolution naturelle des sols ? Quels sont les impacts des activités humaines sur l'intégrité des sols ?

OBJECTIFS

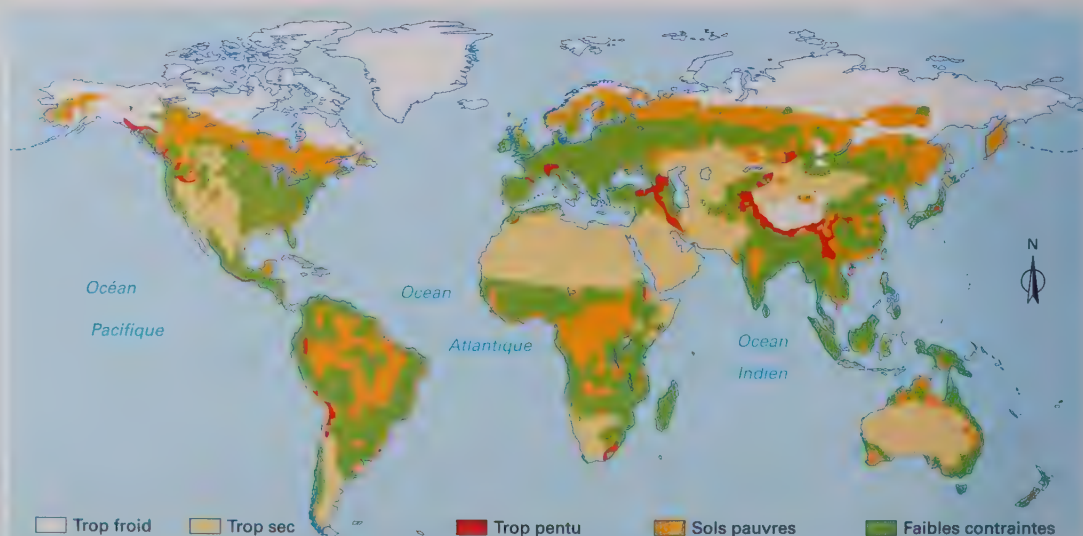
- **Connaissances** : montrer que le sol est inégalement réparti, dégradé facilement et détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est donc indispensable.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : observer et raisonner.

A Une ressource répartie inégalement à la surface du globe.



1 Le sol : une ressource peu disponible.

La part des sols naturellement cultivables dans le monde est exprimée en % de la surface totale des sols mondiaux. Il existe une immense variété de sols, dont la qualité varie en fonction de très nombreux critères. Seuls les sols ne présentant aucune limitation peuvent être mis en culture.



2 Des terres arables rares et inégalement réparties.

La nature du sol, le climat et le relief peuvent représenter un obstacle à l'exploitation agricole des terres. Les contraintes de nature chimique ne sont pas prises en compte.

B Des sols dégradés et détournés de leur fonction

3 Une dégradation naturelle des sols aggravée par les activités humaines.

a. Acidification et pollution chimique des sols.

En climat tempéré humide, le prélèvement par la végétation des ions et leur entraînement en profondeur par les eaux de percolation (lessivage) engendre un appauvrissement chimique naturel en cations basiques (calcium) et se traduit par une acidification progressive des sols.

Ce phénomène a été amplifié par les activités humaines (apports d'engrais et pluies acides causées par les rejets atmosphériques industriels). Enfin, certains polluants atmosphériques azotés s'accumulent dans les sols et provoquent également leur acidification.



4 L'érosion du sol : une perte de sol.

Ce ravin s'est formé en six mois sur un sol ferralitique. Les constituants du sol ont été entraînés par l'eau. La vitesse de formation moyenne d'un sol est de 0,1 à 0,02 mm par an alors que l'érosion* moyenne emporte 1 mm de sol par an.



b. Un exemple de forêt dévastée par les pluies acides (République tchèque).

5 La compaction du sol.

Un sol cultivable a une structure poreuse. Une érosion naturelle due à la pluie, conduit à la formation d'une croûte de battance* qui, en compactant le sol, ferme sa surface à l'infiltration d'eau. Cette compaction du sol est aggravée par l'usage des machines agricoles : le sol devient imperméable. L'eau de pluie ruisselle au lieu de s'infiltrer, les nappes phréatiques ne se rechargent plus et les inondations se multiplient.

VOCABULAIRE

Croûte de battance : croûte au travers de laquelle l'eau ne s'infiltré que très lentement, favorisant l'accumulation d'eau en surface et l'apparition de ruissellement.

Érosion : entraînement des constituants du sol par l'eau ou par le vent.

C Vers une gestion indispensable



6 Lutter contre l'érosion des sols.

a. Culture en terrasses au Népal.

Des zones de terrain horizontales sont maintenues par des murets de pierre sur les pentes cultivées de montagnes.

b. Paysage de bocage. La végétation protège les sols de l'action néfaste des eaux de ruissellement et du vent. Les racines, par leur développement, maintiennent la terre en place.

EXPLOITATION

- À partir du document 1, **indiquer** le pourcentage de sols cultivables à la surface de notre planète. **Commenter** cette valeur.
- À partir du document 2, **recenser** les facteurs limitant la culture du sol terrestre.

- Indiquer** l'origine et la nature de la dégradation naturelle du sol (**doc. 3 et 4**). **Recenser** les dégradations accentuées par les activités humaines (**doc. 3 et 5**).

- Relever** les moyens envisagés pour protéger le sol (**doc. 6**).

1

Composition d'un sol



1 Profil pédologique et pédologue.

● Le sol est la partie superficielle de la croûte terrestre constituant une interface entre la **roche-mère** dont il est issu et l'atmosphère. Il est essentiel aux végétaux, car il leur sert de support et il représente leur source d'éléments nutritifs.

● Sur une coupe de sol, ou profil pédologique, on distingue plusieurs couches superposées généralement de couleur et de structure différentes : les **horizons**. Le nombre d'horizons varie d'un sol à l'autre.

On distingue classiquement : les **horizons A**, riches en matière organique (litière et humus) ; l'**horizon B** où s'accumulent les substances entraînées par lessivage ; l'**horizon C**, constitué par la roche-mère dégradée. La roche-mère n'appartient pas au sol ; c'est le domaine du sous-sol ou de la géologie, contrairement à la pédologie qui aborde l'étude des sols.

● Les **caractéristiques des sols** permettent de distinguer différents types de sols. Les pédologues (**doc. 1**) collectent sur le terrain un certain nombre d'informations pour chaque horizon : son épaisseur, sa texture, l'abondance des éléments grossiers (cailloux, graviers), la limite nette ou graduelle avec les horizons voisins.

● Au laboratoire, des expériences effectuées sur les échantillons issus des différents horizons permettent de mettre en évidence les **composantes** essentielles du sol : les gaz, l'eau, les constituants organiques (débris végétaux, humus) et les constituants minéraux dont dépend la texture. Des mesures permettent, entre autres, de déterminer la porosité, la perméabilité, le pH et la capacité de rétention d'eau.

Outre la présence de matière minérale, de substance organique morte, un sol renferme également une **composante vivante** : des racines, des champignons, des bactéries, une macrofaune et une microfaune très abondantes et très variées (**activité 1**).

2

Une formation lente et multifactorielle



2 Rochers colonisés par des végétaux.

● La **formation des sols** est un processus extrêmement lent : les différents horizons se forment en quelques milliers d'années.

La roche-mère portée à la surface est d'abord colonisée par des végétaux pionniers comme les lichens et les mousses (**doc. 2**).

Sous l'action des variations de température, du gel, de l'eau et des racines des végétaux, la roche-mère se **fragmente** peu à peu.

Cette désagrégation est accompagnée de **transformations chimiques** (ou altération). Des réactions, dans lesquelles interviennent l'eau et le dioxyde de carbone, transforment certains minéraux en argiles. Il se constitue ainsi un **horizon d'altération** (horizon C).

● En surface, le dépôt de **matière organique morte** constitue la **litière** dans laquelle on reconnaît encore des débris végétaux, des cadavres et des excréments d'animaux. Cette matière organique est pour une part **minéralisée**, transformée en matière minérale par les décomposeurs (bactéries, champignons). L'autre part est transformée en un constituant organique complexe, l'**humus**, qui s'incorpore peu à peu au sol sous l'action de la faune (vers de terre, larves d'insectes, etc.). Les horizons humifères sont ainsi élaborés (horizons A et B).

- La **genèse d'un sol** dépend de plusieurs facteurs :
 - la nature de la roche-mère (les minéraux sont plus ou moins altérables),
 - le climat (température et précipitations),
 - les êtres vivants (végétation en surface, flore et faune du sol),
 - le relief (sur une pente, les eaux de ruissellement peuvent entraîner les produits d'altération et retarder la formation du sol),
 - le temps de formation d'un sol (un sol est très lent à se former)
- (activité 2).

3

Le sol : une ressource qu'il faut préserver



3 La déforestation amazonienne.

● Les **sols cultivables** ne représentent qu'une faible part de l'ensemble des sols à la surface de la planète. Nombre d'entre eux sont trop pentus, trop froids, trop secs ou trop humides, trop minces pour pouvoir être mis en culture.

● Ils subissent une **dégradation naturelle**. L'acidification que l'on observe en climat tempéré résulte de l'entraînement en profondeur de certains cations basiques (Ca^{2+}) par l'eau qui percole dans le sol. La superficie devient donc acide. Cette dégradation est amplifiée par les activités humaines. Les rejets industriels dans l'atmosphère peuvent être à l'origine de pluies acides.

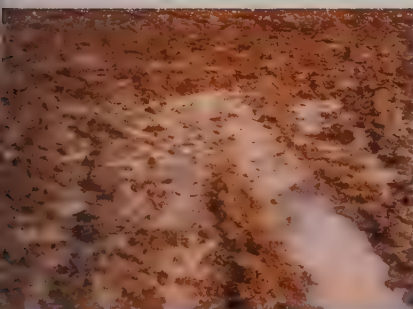
● La **salinisation** est un autre exemple de dégradation. Le sol accumule des ions solubles (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^- ...) qui sont apportés par les eaux de pluie ou l'irrigation. Un déficit de lessivage les maintient en superficie. La salinité affecte la croissance des plantes et accentue les effets de la sécheresse. Les superficies perdues chaque année pour les cultures par suite de cette salinisation excessive varient selon les auteurs entre 10 et 20 millions d'hectares sur les 280 millions irrigués, à ce jour, dans le monde.

● L'**érosion** qui entraîne des constituants du sol par l'eau ou le vent représente également une menace sur les surfaces cultivables. On évalue à environ 17 % la surface du territoire européen affectée par l'érosion, à des degrés divers. La vitesse de formation moyenne d'un sol est de 0,1 à 0,02 mm par an alors que l'érosion moyenne emporte 1 mm de sol par an.

● La **végétation** ralentit l'écoulement de l'eau, ses racines retiennent le sol. La déforestation (**doc. 3**) liée à l'urbanisation, le surpâturage, la suppression des haies et la mise à nu des talus favorisent l'érosion.

Les pratiques agricoles modernes qui utilisent des machines de plus en plus lourdes entraînent une **compaction du sol**. Sa porosité est affectée (**doc. 4**). L'atmosphère gazeuse du sol, indispensable à la respiration des êtres vivants, et notamment des racines, est réduite. De plus, la perméabilité du sol est affectée. L'eau de pluie ruisselle au lieu de s'infiltrer et peut provoquer des inondations. La recharge des nappes phréatiques est compromise. ➡ (Questions de sciences p. 166)

● Le sol est donc une **ressource fragile et limitée**. Le maintien des surfaces cultivables passe par des mesures de protection contre l'acidification, la salinisation et l'érosion. Le contrôle des rejets industriels et le maintien de la végétation (comme les haies) sont des mesures importantes d'une gestion raisonnée de cette ressource (**activité 3**).



4 Stagnation des eaux de pluies, après plus de 100 mm de précipitations, sur un sol dégradé présentant une croûte de battance.

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Le sol : une ressource fragile

Le **sol** est formé à partir de la **dégradation** d'un matériau du sous-sol : la roche-mère. Plusieurs horizons le composent.

Un sol comprend des éléments **solides** (matière minérale et organique), **liquide** (eau) et **gazeux**.

Sa mise en place comprend deux étapes principales : une **décomposition de la roche-mère** (par désagrégation physique et altération chimique) et un **enrichissement en matière organique** (par dépôt puis dégradation de la litière).

La pédogenèse, ou formation d'un sol, est conditionnée par la nature de la roche-mère, l'activité des êtres vivants de l'écosystème et les facteurs climatiques (température, pluviométrie).

La formation d'un sol nécessite des **milliers d'années** (1 cm fabriqué en un siècle). C'est donc une ressource considérée comme **non renouvelable** à l'échelle humaine.

Les **sols fertiles** sont fragiles et inégalement répartis à la surface du globe.

L'agriculture intensive et l'urbanisation **dégradent les terres arables**. Érosion, compaction et pollution dénaturent les sols et les rendent inexploitable.

Il est important de connaître la formation et l'évolution des sols afin de pouvoir les protéger.

Une **gestion raisonnée** de l'utilisation des sols est indispensable pour un développement durable.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

■ Observer, manipuler et expérimenter.

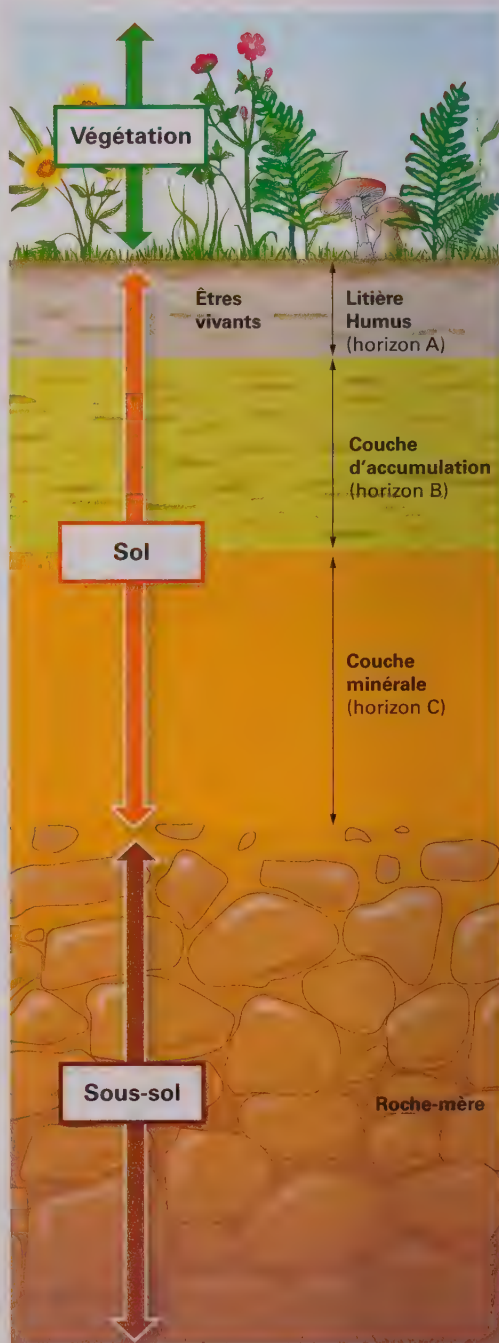
■ Recenser, extraire et organiser des informations.

■ Communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

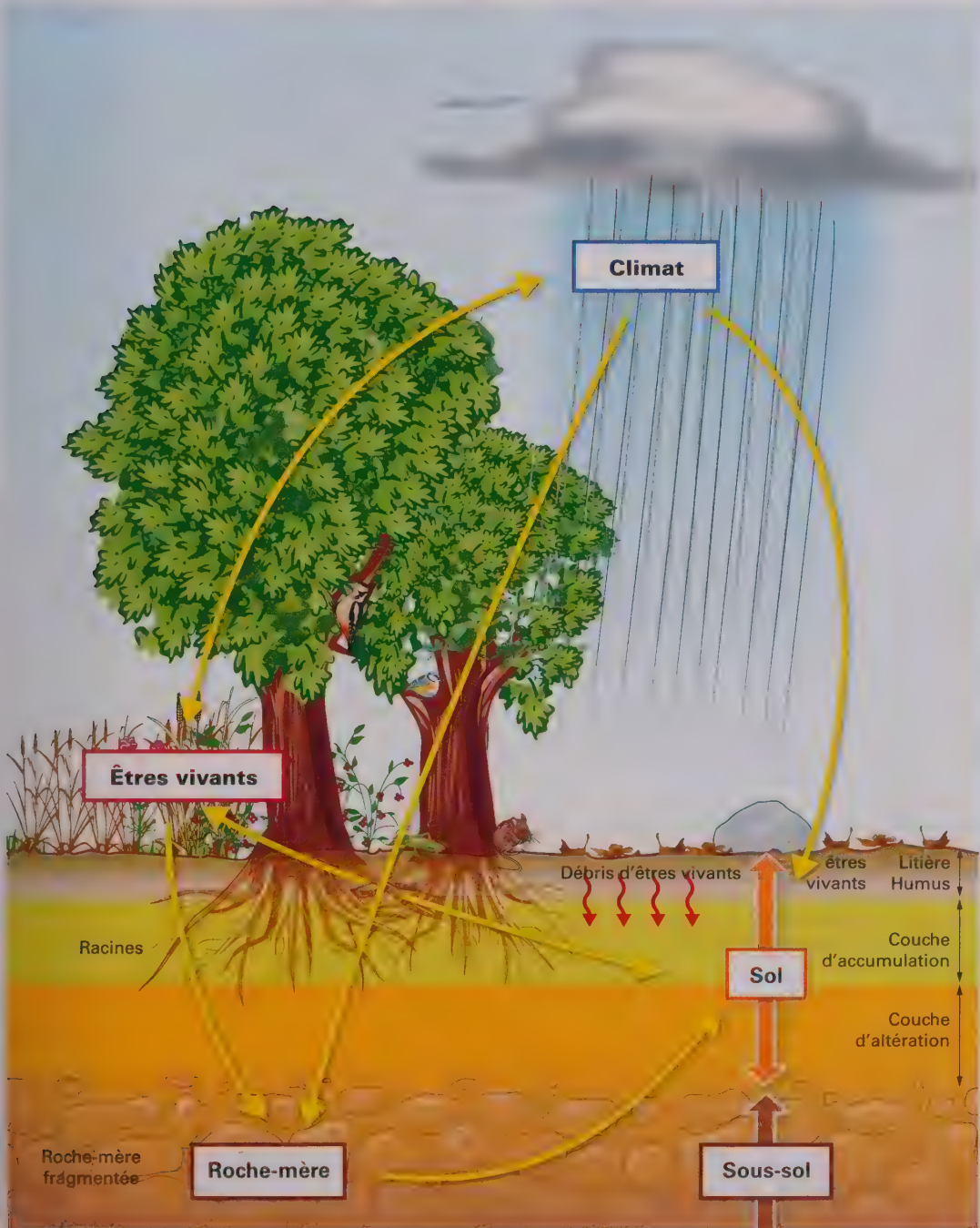
■ Pratiquer une démarche scientifique : observer et raisonner.

■ Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement.

■ Les divers horizons d'un sol



■ Le sol : interface « lithosphère-biosphère-atmosphère »



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a. Le sol est constitué :
 1. seulement de particules minérales.
 2. seulement de particules organiques.
 3. de particules minérales et organiques.
- b. Dans le sol, les racines des végétaux puisent :
 1. de l'eau.
 2. du CO_2 .
 3. des sels minéraux.
- c. La formation de la part minérale du sol est due à :
 1. l'action des animaux.
 2. l'action des micro-organismes.
 3. l'action de la température.
 4. l'action de la pluie.
- d. Un centimètre de sol se forme en :
 1. moins de 10 ans.
 2. environ 10 ans.
 3. plus d'un siècle.

2 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a. un sol comporte :
 1. un seul horizon.
 2. plusieurs horizons.
 3. une phase gazeuse.
- b. Dans un sol, la litière est :
 1. l'horizon supérieur.
 2. l'horizon inférieur.
 3. la composante organique.
- c. L'horizon d'altération est :
 1. superficiel.
 2. profond.
 3. au contact de la roche-mère.
 4. au contact de la litière.
- d. L'altération :
 1. est un processus physique.
 2. est un processus chimique.
 3. peut être à l'origine de nouveaux minéraux.
 4. est favorisée par une pente importante.
- e. Les bactéries et les champignons d'un sol :
 1. transforment la matière organique.
 2. transforment la matière minérale.
 3. sont des décomposeurs.
 4. agissent dans les horizons profonds du sol.

3 Vrai ou faux ?

EXERCICE CORRIGÉ

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a. Le sol est la partie superficielle de la croûte terrestre.
- b. Le sol provient de l'altération d'une roche.
- c. La matière minérale présente dans le sol est dégradée en matière organique.
- d. Le sol est constitué de particules de même taille.
- e. Les minéraux argileux sont issus de la transformation du quartz.
- f. L'altération d'un sol est d'autant plus rapide que la température est élevée.
- g. L'altération d'un sol est d'autant plus rapide que les précipitations sont importantes.
- h. La compaction favorise le ruissellement en surface.
- i. Les haies protègent les sols contre l'érosion.

4 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a. Le sol renferme des bactéries et des champignons.
- b. La terre arable correspond au sol.
- c. Les lombrics rendent le sol impropre à la culture, car ils consomment la litière.
- d. Les bactéries et les champignons sont des décomposeurs de matière organique.
- e. Le lessivage d'un sol est dû à l'entraînement en surface des particules du sol.
- f. Le sol possède une fraction solide, liquide et gazeuse.
- g. Les plantes sont indifférentes à la nature chimique d'un sol.
- h. Tous les sols disponibles à la surface du globe sont cultivables.

5 Définitions



Définir les termes suivants.

- a. Horizon du sol
- b. Humus
- c. Roche-mère
- d. Humification
- e. Minéralisation

6 Restitution organisée de connaissances

- a. Expliquer comment se forme un sol.
- b. Montrer que la gestion du sol constitue un enjeu majeur pour l'humanité.
- c. Quels sont les facteurs qui déterminent le type de sol présent dans une région donnée ?

Analyser des documents

7 Des expériences montrant le rôle de la macrofaune du sol

Pratiquer un raisonnement scientifique



EXERCICE CORRIGÉ

Afin de tester l'hypothèse :

« la macrofaune du sol (vers de terre, cloportes, myriapodes...) favorise et accélère la décomposition des feuilles », une première série d'expériences a été réalisée.

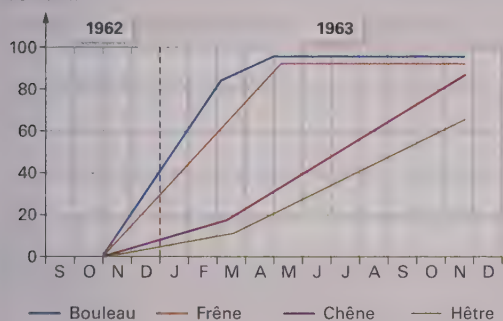
Des feuilles d'arbres de plusieurs espèces ont été enfermées dans des filets et déposées dans le sol.

Deux types de filets ont été utilisés :

- des filets à mailles de 7 mm laissant passer les vers de terre ;
- des filets à mailles de 0,5 mm ne laissant passer que la microfaune (acariens, collemboles...).

Les résultats obtenus sur une année sont présentés dans les documents 1 et 2.

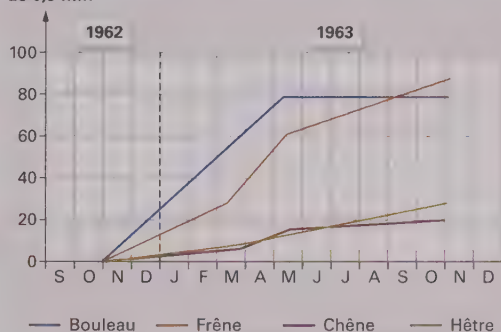
% de disparition des feuilles enfermées dans les filets à mailles de 7 mm



1 Feuilles enfermées dans des filets à mailles de 7 mm.

a. Étudier l'évolution de la décomposition des différentes feuilles d'arbres dans les deux cas.

% de disparition des feuilles enfermées dans les filets à mailles de 0,5 mm



2 Feuilles enfermées dans des filets à mailles de 0,5 mm.

b. Quelles conclusions peut-on tirer de ces expériences ? L'hypothèse de départ est-elle validée ?

Une seconde série d'expériences est réalisée.

Les feuilles sont traitées avec des substances répulsives avant d'être enfermées dans des filets à mailles de 0,5 mm.

Expérience a : on utilise l'aldrine qui chasse spécifiquement les collemboles.

Expérience b : on emploie du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), pesticide qui éloigne les acariens, prédateurs des collemboles.

Expérience c : on utilise du naphhtène, une substance répulsive pour l'ensemble de la microfaune. L'activité biologique est alors réduite à celle des champignons et des bactéries.

Résultats

Expérience a : la litière disparaît plus lentement que dans les filets à mailles de 0,5 mm ne renfermant pas de substance répulsive.

Expérience b : la litière disparaît plus rapidement que dans les filets de même taille ne contenant pas de substance répulsive.

Expérience c : la litière met cinq fois plus de temps à disparaître que dans l'expérience a.

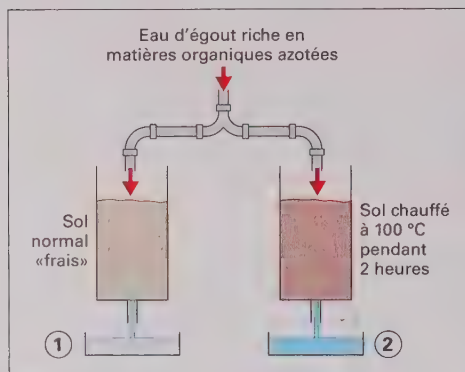
c. Expliquer les résultats obtenus lors de la deuxième série d'expériences.

d. En conclusion, indiquer quels sont les rôles joués par les différents êtres vivants du sol.

EXERCICES

8 Les agents de la minéralisation Pratiquer un raisonnement scientifique

L'expérience consiste à faire percoler une eau issue de rizière, très riche en matière organique à travers deux échantillons d'un même sol.
Le premier échantillon est un sol frais. Le second est un sol chauffé à 100 °C pendant deux heures : la microfaune est tuée.



1 Schéma de l'expérience.

	Eau de percolation du sol frais		Eau de percolation du sol chauffé	
	Matière organique	Matière minérale	Matière organique	Matière minérale
Jours 1 à 5	Importante	Faible	Importante	Faible
Après 20 jours	Importante	Importante	Importante	Faible

2 La composition de l'eau de percolation est analysée en fonction du temps.

- À partir de quoi la matière minérale recueillie dans l'expérience a-t-elle pu apparaître ?
- Comparer les résultats obtenus avec les deux eaux. Que peut-on en conclure ?
- Quelle expérience pourrait-on réaliser afin de vérifier cette conclusion ?

9 Érosion du sol et pente Pratiquer un raisonnement scientifique

Des études portant sur l'érosion du sol, en climat tempéré, ont été réalisées, en parcelles expérimentales, dans des stations de conservation du sol aux États-Unis.

Type de sol	Pluie moyenne annuelle (mm)	Longueur de pente (m)	Degré de pente (%)	Ruissellement moyen (% des pluies)	Érosion moyenne annuelle (tonnes/km ²)
Limon argileux a)	526	30	0	6,4	543
b)	526	30	1	15,1	1 284
c)	526	30	2	15,5	1 729
Limon fin a)	926	22	8	30,4	14 825
b)	926	22	12	42	18 087

1 Influence du degré de la pente sur la valeur moyenne annuelle du ruissellement et de l'érosion du sol par l'eau.

Longueur de pente (m)	Ruissellement (% de la hauteur d'eau tombée)	Érosion (tonnes/km ²)
48	10,8	2 134
96	18	4 511
192	20,3	8 119

2 Influence de la longueur de la pente sur l'érosion du sol.

On a mesuré le ruissellement et l'érosion provoqués par cinq pluies de grande intensité sur trois parcelles différant en longueur.

■ Préciser l'influence de la pente sur l'érosion et le ruissellement dans un champ en utilisant les données des documents 1 et 2.

10 Racines et propriétés du sol Pratiquer un raisonnement scientifique

Le document 1 montre des racines de luzerne qui descendent et se ramifient à 80 cm de profondeur dans l'horizon, nommé B, du sol.

Le document 2 montre, pour un autre sol, les racines d'un arbre qui se ramifient au niveau de l'horizon superficiel du sol.

- Que doivent prélever les racines pour assurer le développement du végétal ?
- Quelles raisons expliquent la différence de répartition des racines dans ces deux exemples ?
- Montrer que le comportement des racines est révélateur des propriétés du sol.



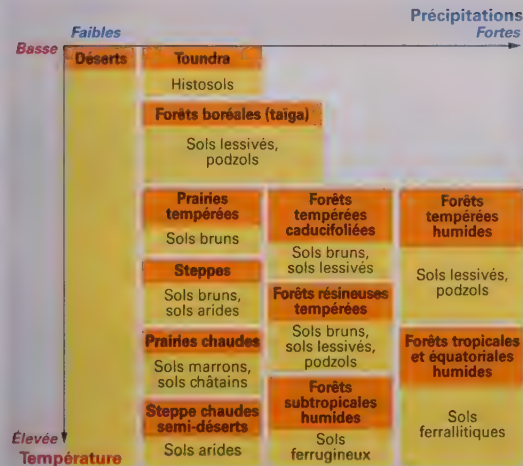
1 Racines de luzerne qui descendent et se ramifient à 80 cm de profondeur dans l'horizon B du sol.



2 Racines d'un arbre qui se ramifient au niveau de l'horizon superficiel du sol.

11 Sols, végétation et climat

Communiquer des idées et des données scientifiques



■ Répartition des sols en fonction de la température et des précipitations.

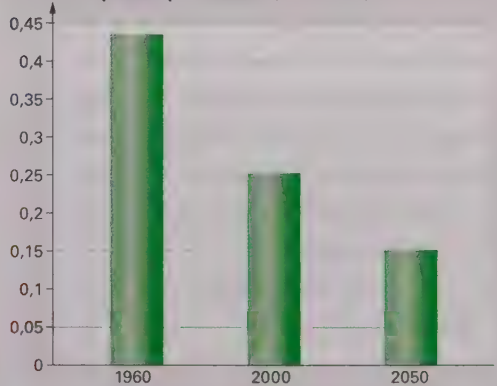
(Histosol : sol très riche en matières organiques.)

- Indiquer dans quelles conditions se forment les sols suivants : podzol, sol brun et sol ferrallitique.
- Qu'en déduire quant aux facteurs impliqués dans la formation du sol ?

12 Le sol : une ressource à protéger

Communiquer des idées et des données scientifiques

Surface disponible par habitant (en hectare)



■ Estimation de la surface de terre arable disponible par habitant.

- Analyser l'histogramme. Que peut-on constater ?
- À l'aide de vos connaissances, citer des facteurs impliqués dans ce phénomène.

Boues des villes et boues des champs

Que faire des boues de station d'épuration, dont la production ne cesse d'augmenter avec le raccordement progressif des campagnes au tout-à-l'égout et la concentration des populations humaines ? Les capacités d'incinération sont limitées et la mise en décharge est progressivement interdite. Actuellement, les deux tiers des boues urbaines, soit environ 0,5 million de tonnes par an (matière sèche), sont recyclés par l'agriculture. Car les boues ont un pouvoir fertilisant, en apportant au sol azote, phosphore et matière organique.

■ Leur usage agricole, connu dès l'Antiquité, s'est à nouveau développé depuis le premier choc pétrolier (1973) pour limiter l'importation d'engrais industriels, notamment phosphatés. La loi de 1979 leur confère le statut de « matières fertilisantes ». Cependant, les boues apportent des nuisances (odeurs), et contiennent des éléments toxiques (métaux lourds). Fait significatif d'une période de remise en question de l'épandage, l'entreprise *Bonduelle* édicte en 1992 un cahier des charges exigeant



Épandage de boues.

« l'absence de boues dix ans avant une culture ». Actuellement, la législation impose des traitements pour assurer la qualité sanitaire des boues et renforce la responsabilité des producteurs de boues. Les références internationales récentes sur les boues épandues tendent à prouver leur innocuité sanitaire. Mais la controverse se poursuit : les agriculteurs sont souvent réticents tandis que les riverains s'organisent en associations.

Mesurer l'état et l'évolution de la qualité des sols en France

Les sols évoluent constamment sous l'effet de grands facteurs naturels et des activités humaines (usages, aménagements fonciers, pratiques agricoles, épandages de boues, retombées atmosphériques, pollutions accidentelles...). Ces évolutions sont, la plupart du temps, préjudiciables au maintien de la qualité des sols. En position d'interface, ils jouent pourtant un rôle clé pour l'environnement : dans le changement climatique en tant que puits ou source de gaz à effet de serre, dans la protection de la qualité de la ressource en eau en tant que filtre de nombreuses matières contaminantes, dans la protection contre les inondations en tant que réservoir tampon vis-à-vis des eaux pluviales, dans le maintien de la biodiversité en tant que milieu de vie d'un patrimoine génétique encore largement inconnu...

■ À la faveur d'une récente prise de conscience, les sols viennent aujourd'hui au centre des préoccupations. Une nouvelle politique environnementale de protection des sols s'est concrétisée en France par la création du Groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol) et par la mise en place d'un **réseau de mesures de la qualité des sols**.



Sol compacté par le passage des machines agricoles.

SITES À CONSULTER

- <http://www.mars.fr/Agro/Le%20Soleil.htm>
- <http://www.mars.fr/Agro/Le%20Soleil.htm>
- <http://www.mars.fr/Agro/Le%20Soleil.htm>

Spreading antibiotics in the soil affects microbial ecosystems

■ Antibiotics used extensively in intensive livestock production may be having an adverse effect on agricultural soil ecosystems. In a presentation to the Society for General Microbiology meeting at Harrogate International Centre March 30, Dr Heike Schmitt from the University of Utrecht, the Netherlands, described how antibiotics passed from the animals in manure that was then spread on farmland. Although higher organisms, such as earthworms, would only be affected at unrealistic concentrations of antibiotics, **changes in soil bacterial communities** have been found repeatedly using molecular microbiological techniques.

■ Bacteria involved in the nitrogen cycle, which replenishes nutrients in the soil, seem to be particularly affected. The effects persisted over several weeks and were still seen even when the antibiotics had broken down significantly. In addition the microbial population of the soil changed as fungi replaced the bacteria suppressed by the antibiotics.

■ «The antibiotic concentrations that to date have been found in agricultural soils are smaller than the concentrations at which the adverse effects start occurring», said Dr Schmitt. «However, this might not be the case for «hot spots», for example, when manure is not mixed thoroughly in the soil.»

Society for General Microbiology (2009, April 2).



■ Stockage et épandage du lisier.

Résumé en français

■ Les antibiotiques sont transmis au sol par le biau du fumier ou du lisier répandu sur les terres agricoles. Des modifications des écosystèmes du sol ont été détectées à plusieurs reprises à l'aide de techniques de microbiologie moléculaire.

■ Les bactéries impliquées dans le cycle de l'azote, qui recylent les éléments nutritifs dans le sol, semblent être particulièrement touchées. Les effets sont persistants même lorsque les concentrations d'antibiotiques diminuent. En outre, les bactéries éliminées par les antibiotiques sont remplacées par des champignons.

■ Les concentrations d'antibiotiques détectées sont a priori trop petites pour que des effets négatifs se produisent, sauf si, ponctuellement, le fumier n'est pas mélangé soigneusement dans le sol.

Valoriser les sols contaminés

Les sols agricoles contaminés sont potentiellement utilisables pour la production de cultures à des fins non alimentaires. La culture de plantes destinées à produire des biocarburants représente par exemple une alternative de mise en valeur de ces surfaces, à condition de ne pas générer d'impacts négatifs sur l'environnement.

Pour mieux connaître la réponse de ces agrosystèmes particuliers, de nouvelles cultures à forte biomasse, de type *Miscanthus*, ont été mises en place sur des surfaces agricoles contaminées par des éléments en traces. Il s'agit maintenant de qualifier et de quantifier les changements de propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol au cours du temps en réponse aux nouveaux modes de gestion. Il faudra également en modéliser les évolutions pour évaluer le risque écotoxicologique associé.

Isabelle Lamy, UR251, INRA Versailles-Grignon



■ Culture de *Miscanthus*.

SITES À CONSULTER

• <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090329205445.htm>

Les réserves de pétrole

Une fois l'ensemble des ressources pétrolifères épuisées, cette **source d'énergie non renouvelable** sera définitivement tarie. Cependant, les réserves évoluent sans cesse, les estimations varient entre 140 Gt et 160 Gt. En se basant sur la consommation actuelle de pétrole, ces chiffres nous garantiraient entre 53 et 63 ans de production.

■ Bien qu'une grande majorité du sous-sol terrestre ait été exploré, il est encore aujourd'hui très difficile de savoir s'il reste beaucoup de pétrole à découvrir. En effet, les zones dites **d'off shore profond** ont été encore peu explorées (2,3 millions de km² pour une surface totale de 55 millions de km²).

■ De plus, les gisements aujourd'hui à maturité contiennent potentiellement beaucoup de pétrole qu'on ne sait pas encore extraire. En effet, les **taux d'extraction** actuels sont d'environ 30 % et chaque point gagné au-delà est équivalent à environ trois ans de production, en considérant un stock mondial récupérable de 266 Gt. Ils pourraient atteindre 50 à 60 % sous l'effet des progrès technologiques, ce qui entraînerait la réouverture de gisements considérés aujourd'hui comme épuisés. Ceci amène à des différences considérables dans les évaluations des réserves à découvrir : de 20 Gt à 140 Gt.

■ En terme de réserves, une distinction est faite entre le pétrole conventionnel (celui exploité actuellement) et le pétrole non conventionnel (un pétrole qui pourrait être exploité dans le futur sous réserve de posséder les technologies adéquates et sous réserve d'un coût de production rentable).

■ En 2002, les coûts de développement des **bruts conventionnels** se situaient entre 2 et 15 dollars américains le baril, et ces coûts ont tendance à diminuer d'un dollar américain par an en moyenne. Ce faisant, certains bruts non conventionnels deviennent exploitables. Ainsi, par le passé, l'exploitation **off shore** était considérée comme beaucoup trop chère et presque impossible, alors qu'aujourd'hui plus personne ne remet en cause sa rentabilité, et le prix du brut en terme réel ne s'est pour autant pas envolé.



2 Affleurement naturel de pétrole contenu dans les sables (province de l'Alberta, Canada).

■ Les **bruts non conventionnels** regroupent les nappes difficiles d'accès : nappes sous couche de sel, **off shore** profond et très profond (la couche d'eau étant de plus de 1 000 mètres voire de plus de 2 000 mètres), huiles extra lourdes, sables asphaltiques et schistes bitumineux.

■ Concernant l'**off shore profond et très profond**, des forages existent déjà qui permettent d'exploiter des gisements à plus de 1 000 mètres de profondeur sous la surface de la mer. C'est le cas au Congo et en Angola (dont un gisement en mer profonde est le plus grand d'Afrique), mais aussi au Gabon avec un forage à plus de 2 500 mètres.

■ La frontière entre brut non conventionnel et brut conventionnel est sans cesse repoussée par les avancées technologiques. Ainsi, les **huiles extra lourdes** de l'Orénoque, au Venezuela, n'étaient autrefois exploitables que pour un prix supérieur à 30 dollars américains le baril. La diminution du coût de développement rend aujourd'hui possible cette exploitation pour un prix d'environ 15 dollars américains le baril.

■ De même, la région de l'Athabasca (au nord de la province de l'Alberta au Canada) était autrefois un océan qui a laissé place, en s'asséchant, à des **sables asphaltiques**. Ces sables constitueraient le plus grand gisement mondial de pétrole potentiellement exploitable avec une estimation de 40 Gt. Actuellement, ces sables sont en partie exploités et représentent 34 % de la production canadienne totale. D'après l'entreprise **Suncor** qui exploite un de ces gisements, le coût de revient d'un baril de pétrole est de 12,5 dollars américains. L'épuisement des réserves de pétrole est donc un sujet ouvert qu'il est très difficile, voire impossible, de prédire aujourd'hui.

d'après Info.comm



1 Plate-forme **off shore**.

3 Raffinerie de pétrole dans la province de l'Alberta, au Canada.



Les réserves mondiales de pétrole et de gaz : pour combien de temps encore ?

Jusqu'à la fin des années 1990, les résultats de l'exploration et les progrès des techniques de récupération assistée dans les gisements en production ont permis le renouvellement des réserves. C'est pour cela que l'on dit souvent « depuis quarante ans, on a quarante ans de pétrole devant nous ». C'était encore le cas en 2005, puisque le monde disposait de 37 ans de réserves. Mais depuis quelques années, le renouvellement des réserves n'est plus assuré par l'exploration : les gisements découverts sont moins nombreux et plus petits (à l'exception de quelques zones nouvelles comme la mer Caspienne par exemple). Cela n'a pas encore d'effet sur la production. Mais il est certain qu'un jour, l'offre de pétrole ne pourra plus suivre une demande toujours croissante. Cela ne prendra pas la forme d'une disparition brutale du pétrole dans quarante ou cinquante ans, mais celle d'un pic à partir duquel la production va commencer à diminuer, lentement mais inexorablement. Ce maximum est appelé « **pic de Hubbert** ». Les experts ne sont pas d'accord entre eux sur le moment où il va se produire. Pour les plus optimistes, c'est dans trente ans et pour les plus pessimistes, c'est dans cinq ans ! Le pic de Hubbert est un paramètre des grands enjeux qui nous attendent dans les années à venir !



1 Terminal de gaz liquide au Qatar.

Les réserves de gaz dans le monde sont moins concentrées que celles de pétrole. Le Moyen-Orient totalise 42 % de ces réserves. Le pôle concurrent, formé de la Russie et des pays riverains de la côte orientale de la mer Caspienne (Kazakhstan, Turkménistan), représente 31 % des réserves mondiales. À noter, le cas particulier du Qatar, pays minuscule de la péninsule Arabique, qui possède avec son gisement supergéant du North Dome près de 15 % des réserves de gaz de la planète ! Au rythme de la consommation actuelle, les réserves de gaz dureraient vingt-trois ans de plus que celles de pétrole.

d'après planete-energies.com



2 Raffinerie de pétrole à Grandpuits, France.



3 Navire méthanier.

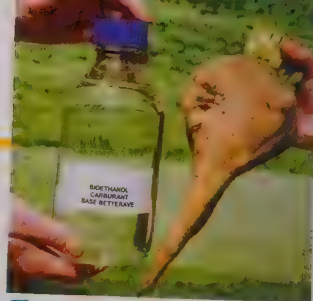
Durée de vie des réserves des différentes matières premières énergétiques estimées en fonction de la consommation en 2005. Sachant que chacune d'entre elles possède aussi son pic de Hubbert :

- Pétrole : environ 40 ans
- Gaz : environ 60 ans
- Charbon : environ 200 ans
- Uranium : environ 100 ans

SITES À CONSULTER

www.planete-energies.com

Les deux familles de biocarburants développées en France



1 Le bioéthanol est produit à partir de la betterave à sucre.

Le **biodiesel** ou EMVH (esters méthyliques d'huile végétale) est issu du colza ou du tournesol. Il est incorporé au gazole. À court terme (2010), les EMVH d'origine animale pourront représenter jusqu'à 10 % de la production de biodiesel.

Le **bioéthanol**, alcool éthylique d'origine agricole, est issu de betteraves à sucre ou de graines de céréales. Il est incorporé à l'essence à la pompe, soit en l'état, soit sous forme d'ETBE (éthyl-tertio-butyl-ether).

■ En 2005, le gouvernement français a fixé des objectifs d'incorporation de biocarburants supérieurs à ce qu'étaient alors les objectifs de l'UE : 7 % d'ici à 2010, 10 % d'ici à 2015. En 2006, 631 000 t de biodiesel et 235 000 t de bioéthanol ont été mis à la consommation en France, soit respectivement 1,77 % et 1,75 % de la consommation française de gazole et d'essences. Cette moyenne inclut la consommation des voitures administratives de vingt-cinq villes et agglomérations soit 4 000 véhicules roulant avec 30 % de biodiesel.

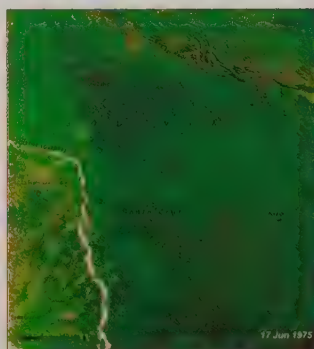
Prolea, organisme représentatif de la filière biodiesel, prévoit en 2010 une production de 1 041 800 tonnes de biodiesel et de 3 232 500 tonnes de bioéthanol.



2 Différentes céréales permettant d'obtenir des biocarburants.

Biomasse et stockage du carbone atmosphérique

Dans leur seule biomasse, on estime que les forêts renferment 289 gigatonnes (Gt) de carbone. Bien que la gestion durable, la plantation et la réhabilitation des forêts puissent favoriser la fixation du carbone forestier, voire l'augmenter, la déforestation, la dégradation et la mauvaise gestion contribuent à la réduire. Au niveau mondial, le carbone stocké dans la biomasse forestière a diminué d'environ 0,5 Gt chaque année sur la période 2005-2010, à cause essentiellement de l'amenuisement de la superficie forestière mondiale.



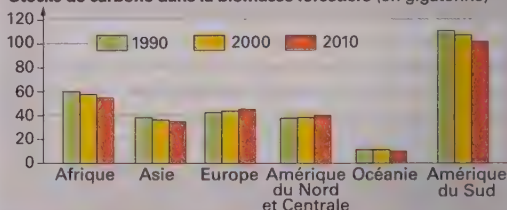
1 Forêt en Bolivie, le 17 juin 1975.



2 Le même endroit en mai 2003. On peut observer l'impact de la déforestation.

3 Changement des stocks de carbone dans la biomasse forestière (1990-2010).

Stocks de carbone dans la biomasse forestière (en gigatonne)



SITES À CONSULTER

• <http://www.ifv.fr/actualites/ressources/bio-carburants>



Découvrir les métiers du renouvelable

L'utilisation des sources d'énergies dites renouvelables promet un développement à différents types de métiers.

La biomasse est source d'agro-carburants, elle est aussi utilisée directement comme combustibles (copeaux issus du déchetage de bois morts ou à croissance rapide).

L'énergie solaire utilise des panneaux capteurs, soit pour la production d'eau chaude sanitaire, soit pour la production d'électricité. L'énergie éolienne permet la production d'électricité. Les installations d'éoliennes peuvent être réalisées à grande échelle dans des sites favorables. Il existe aussi des éoliennes plus petites à usage individuel.

Les différents types de métiers associés à l'ensemble de ces « énergies nouvelles » :

- ceux impliqués dans la conception des convertisseurs d'énergie et leur amélioration ;
- ceux impliqués dans la pose et l'entretien des installations,
- ceux qui étudient l'intégration des nouvelles technologies de l'énergie dans la construction ou l'équipement de la construction à haute efficacité énergétique,
- ceux qui servent à la promotion et à la vente de ces installations.

De nouvelles formations sont développées par certaines universités et IUT (voir ci-contre) accessibles avec un Bac scientifique.

Les débouchés

Ils sont de niveaux et d'aptitudes variés : conseil, études auprès des collectivités locales et promotion des nouvelles technologies ; cadre chez les gestionnaires d'énergie et les exploitants ; cadre technique du bâtiment au sein de bureaux d'études, de services techniques des collectivités locales ou des grands cabinets d'architecture.

Interview

Experts en installations hydroliennes

Énergie de la lune, c'est le nom évocateur du bureau d'études créé par deux amis bordelais, Marc Lafosse et Jérôme Cougoul, diplômés d'un DEA d'océanographie. Objectif : l'installation d'une ferme hydrolienne autour du Pont de Pierre de Bordeaux pour produire 20% de l'énergie nécessaire à l'éclairage public de Bordeaux.

Comment est né « Énergie de la Lune » ? Quelle est votre formation initiale ?

M. L. : C'est l'alternance de nos cours en master 1 et 2, qui a rendu l'idée d'utiliser l'énergie du courant sous le Pont de Pierre évidente.

Quelles sont les étapes de l'émergence de cette idée à la création de ce bureau d'étude ?

M. L. et J. C. : Nous avons fait des stages de master 1 et 2 dans plusieurs labo-

ratatoires : télédétection appliquée au suivi des particules de surface du bassin, cartographie de l'état de la Dune, quantification de la matière en suspension des eaux de l'estuaire en Gironde. Un stage en Master 2, dans le cadre d'Erasmus, au National oceanographic center (NOC) à Southampton nous a beaucoup apporté.

M. L. : En France il n'y avait pas beaucoup de marché dans l'énergie hydrolienne, surtout en estuaire. J'ai organisé des manifestations avec recherche de partenaires, et notamment la traversée de la Garonne où nous réalisons notre bilan carbone par nageur chaque année.

Avez-vous des qualités différentes pour développer votre projet ?

M. L. : Nous sommes complémentaires, je m'occupe de la communication, de la recherche de partenaires et Jérôme des relevés, des données... Il faut bien comprendre qu'il ne faut créer son entreprise que si il y a un marché. Nous avons créé la nôtre le 5 mars 2009. Pour

Les formations

• **BTS « Fluides Energie Environnement » :** ils intègrent de plus en plus des formations aux énergies renouvelables dans leur programme.

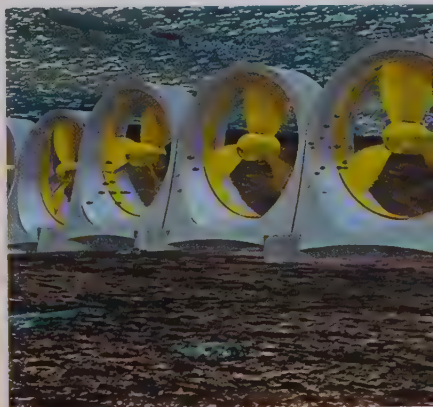
• **Licence « Sciences et techniques des Energies renouvelables »** accessible aux étudiants titulaires d'un BTS ou DUT.

• **Master 2 européen :** intégration de l'efficacité énergétique et des renouvelables dans la conception des bâtiments, piloté par l'université de Londres.

• **Master technologies des systèmes hybrides de production d'électricité et de chaleur (Lille).**

• **Master 2 chimie-physique des énergies décentralisées, embarquées et renouvelables (ceder),** ciblant trois filières : solaire photovoltaïque, piles à combustible et accumulateurs, avec une formation par alternance.

Liens utiles sur le site compagnon.



Une maquette de turbines immergées.

cela, différents organismes de la Région nous ont aidé à mûrir notre réflexion et nous avons suivi une formation pour diriger une entreprise. Nous avons aussi participé à plusieurs concours : prix espoir catégorie Talent d'entrepreneur éco-responsable en 2009.

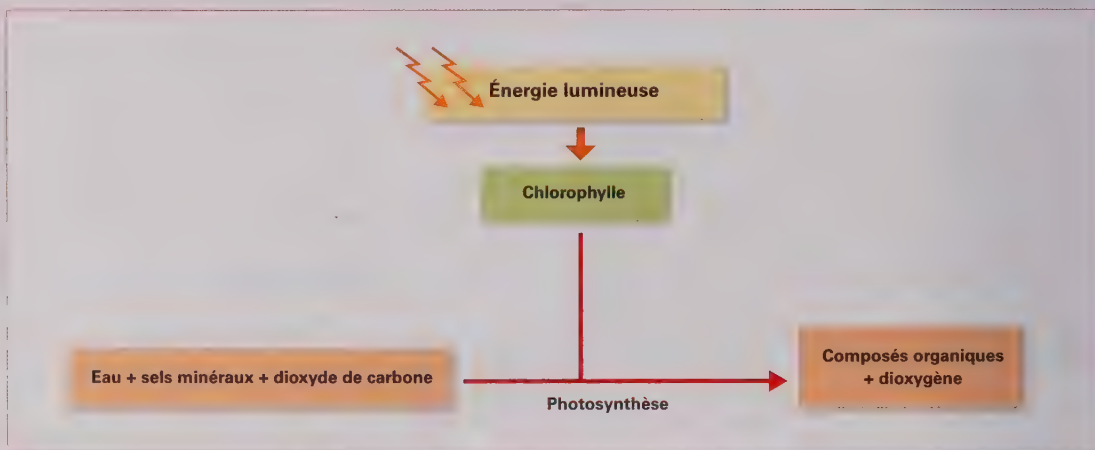
Quelles compétences sont nécessaires pour réaliser votre travail ?

Des compétences en océanographie, un éveil universitaire : se tenir au courant de l'actualité, et des compétences de chef d'entreprise.

Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol

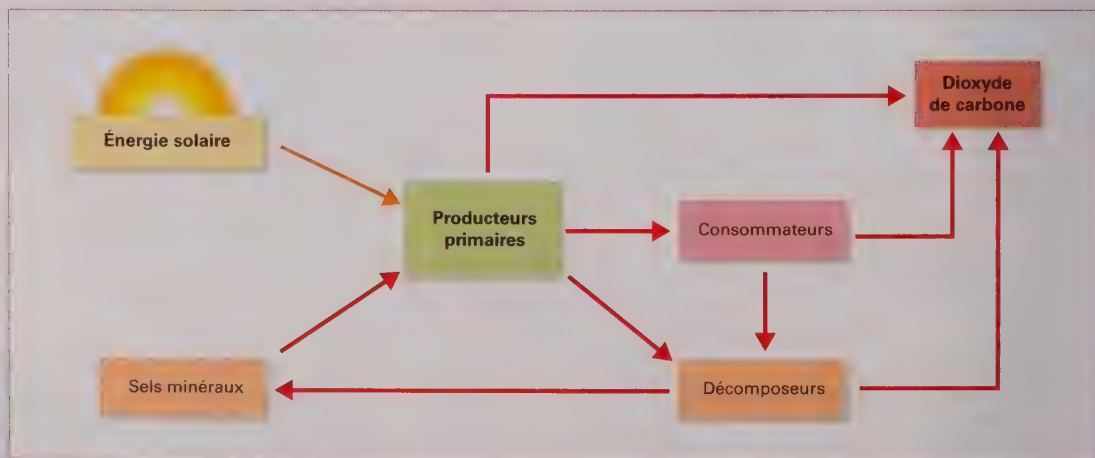
Le Soleil, une source d'énergie essentielle

- Une faible part de l'énergie solaire est captée par les végétaux chlorophylliens. Elle permet le déroulement de la photosynthèse, synthèse de matière organique à la lumière en présence d'eau, de dioxyde de carbone et de sels minéraux.



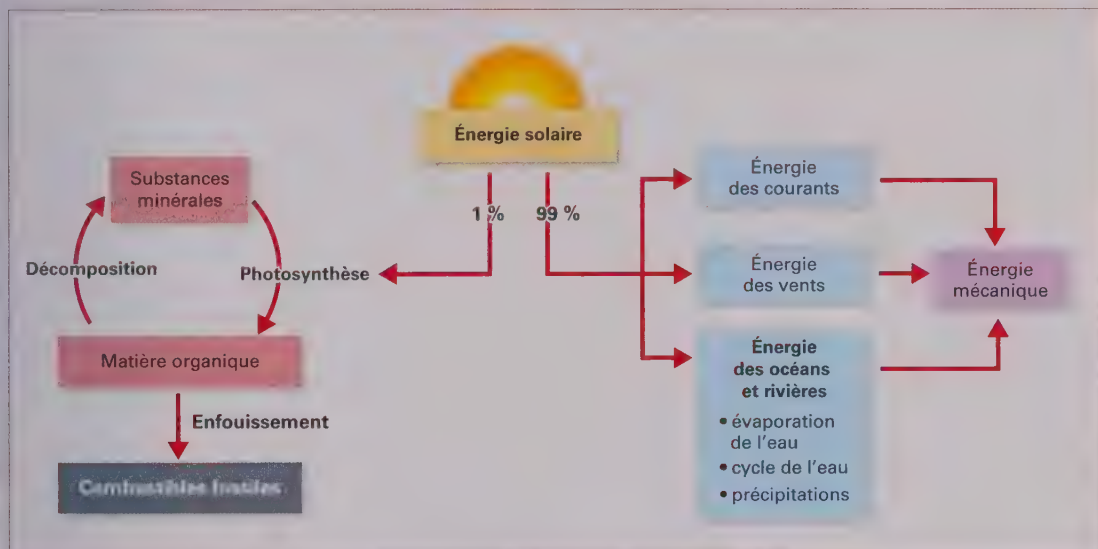
1 Énergie solaire et photosynthèse.

- Les végétaux chlorophylliens, et donc l'énergie lumineuse, sont à l'origine des chaînes alimentaires par la matière organique qu'ils produisent. Une grande part de cette matière est recyclée en étant oxydée. Une faible part échappe à la décomposition et se transforme lentement en combustibles fossiles. L'utilisation de ces combustibles par l'Homme conduit à rejeter dans l'atmosphère du dioxyde de carbone dont la concentration augmente rapidement. Ceci interfère avec le cycle naturel du carbone.



2 Fonctionnement des écosystèmes.

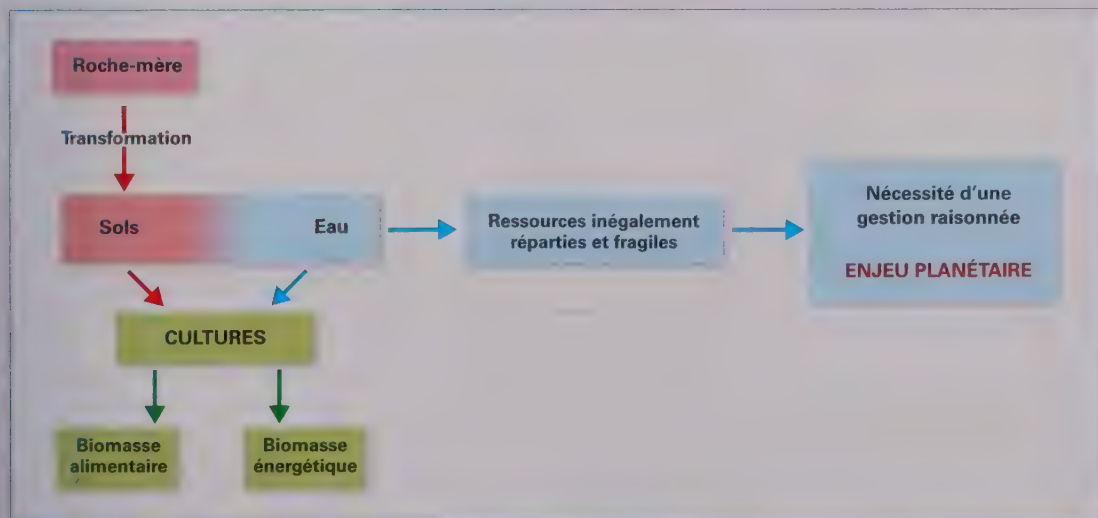
- Une grande part de l'énergie solaire est à l'origine des vents, des courants, du cycle de l'eau. Les énergies éoliennes, hydroélectrique sont, à la différence de l'énergie des combustibles fossiles, des énergies renouvelables.



3 Énergies issues de la conversion de l'énergie solaire.

Le sol : un patrimoine durable ?

- Les cultures sont une source d'aliments et d'énergie (agrocarburants). Elles nécessitent des sols et de l'eau, deux ressources fragiles, inégalement réparties à la surface du globe. Un sol se forme lentement par transformation d'une roche-mère.



4 Sols et eau, deux ressources fragiles, inégalement réparties.



✶ Sport et dépassement de soi.

... Sciences et arts L'athlétisme moderne est issu des jeux pratiqués dans l'Antiquité pour développer les qualités physiques des guerriers et honorer leurs dieux. Dans cette toile de Delaunay, la répétition en décalé des couleurs et la structure fragmentée, renforcées par les contrastes de couleurs, créent les sensations de profondeur et de vitesse. En s'appropriant les techniques du cubisme et en jouant sur les contrastes, le peintre a réussi à rendre deux des essences de l'athlétisme : la vitesse et l'endurance.

Robert Delaunay (1885-1941),
Les Coureurs, huile sur toile, 1924
(musée d'Art moderne, Troyes, France).



✶ Sport et jeu.

... Sciences et arts Le terme moderne de « sport » a pour racine le mot de vieux français desport qui signifie « divertissement, plaisir physique ou de l'esprit ». En traversant la Manche, desport se transforme en « sport » et évacue de son champ la notion générale de loisir pour se concentrer sur les seules activités physiques. Mais le sport n'est pas toujours facile à distinguer du jeu. La technique du batik consiste à enduire de cire un tissu, puis à ôter celle-ci au niveau des motifs que l'on colore par trempage. À la fin, la cire est complètement éliminée.

M.C. Escher représente un match de football et une foule regardant les tribunes, ici sous (National Football Museum, Preston, Royaume-Uni).

L'exercice physique

CHAPITRE 9 Effort physique et dépense énergétique

CHAPITRE 10 Exercice physique et apports en dioxygène et en nutriments

CHAPITRE 11 Régulation de la pression artérielle

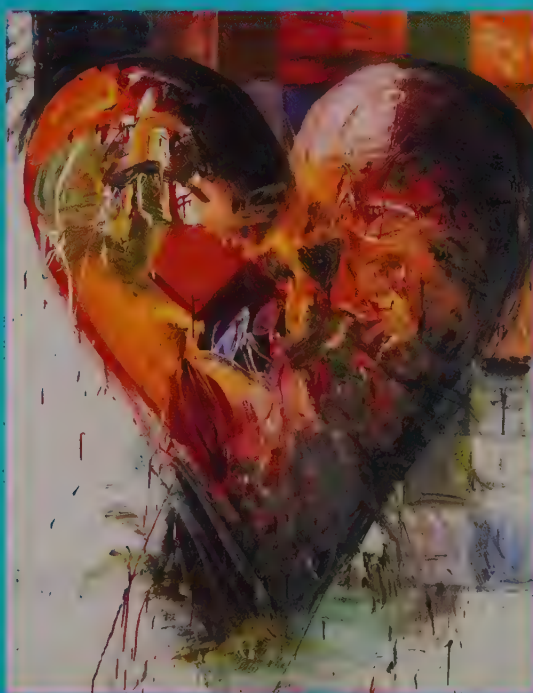
CHAPITRE 12 Pratiquer une activité physique en préservant sa santé



★ Sport et santé.

... Sciences et arts Au cours du ^{xx}e siècle, en Europe, les médecins hygiénistes prônent la pratique des activités physiques. Des compétitions s'organisent, notamment dans les milieux universitaires masculins. Les femmes gagnent le droit au début du ^{xx}e siècle de pratiquer et de participer aux compétitions sportives.

Jeunes femmes faisant du sport, photographie, Autriche, vers 1930 (collection particulière).



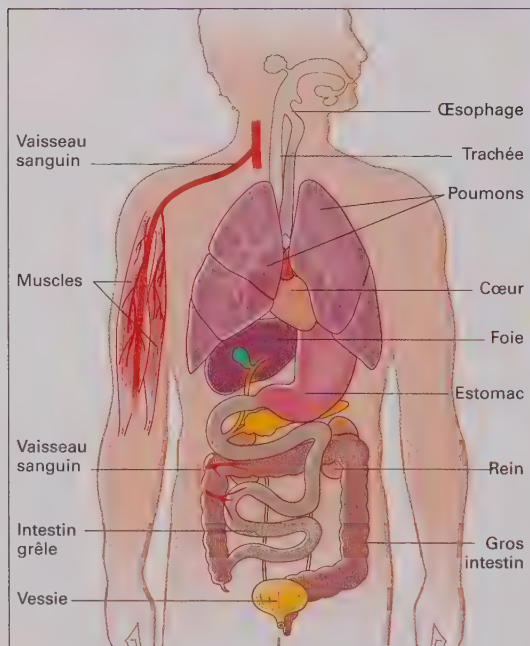
★ Le cœur, pompe de la circulation, mais aussi écho de nos émotions.

... Sciences et arts Jim Dine est un représentant du pop art américain. Ce Cœur dans la multitude, à la fois vibrant de vie et écorché, fait partie d'une série de cœurs à travers lesquels l'artiste cherche avant tout à exprimer ses propres sentiments. La dualité de cet organe mystérieux, dont le rythme s'accélère aussi bien pour accompagner un effort qu'une émotion, est ainsi rendue.

Jim Dine, Cœur dans la multitude, 1975, l'œuvre dans la collection de l'artiste, 1975 (collection particulière).

Corps humain et santé : l'exercice physique

1 L'énergie utilisable par les cellules provient de l'oxydation des nutriments par le dioxygène.



a. Anatomie du corps humain et devenir des nutriments et du dioxygène absorbés.

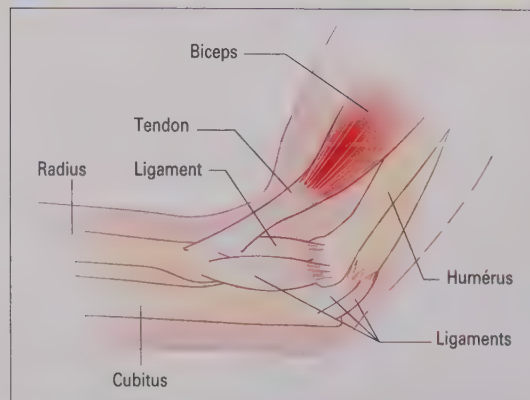


b. Un nageur en plein effort.

Questions

- 1 Indiquer par des légendes correctement placées sur le schéma le devenir des pâtes et du dioxygène absorbé par un individu.
- 2 Quel est l'intérêt pour un sportif de manger des pâtes avant la course ?
- 3 Pourquoi le nageur doit-il nécessairement reprendre sa respiration ?

2 Muscles et articulations.



Muscles et articulation du coude.

Questions

- 4 Associer à chaque élément intervenant dans un mouvement son rôle (par exemple lors de la flexion de l'avant-bras sur le bras).

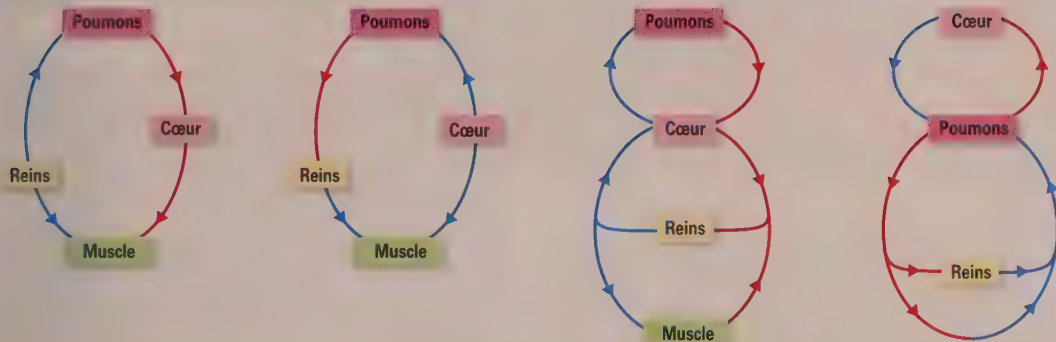
Liste A

1. Muscle (biceps).
2. Os (humérus).
3. Tendon.
4. Ligaments.

Liste B

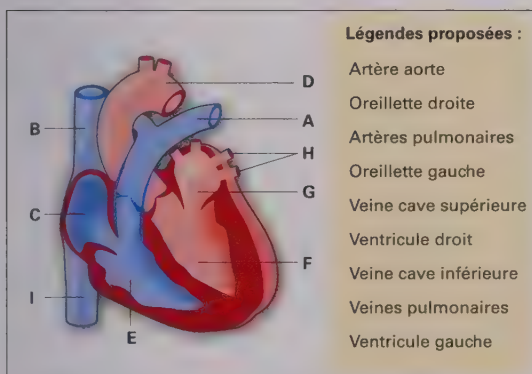
- a. Relie deux os d'une articulation.
- b. Relie un muscle à un os.
- c. Soutient les organes.
- d. Actionne le déplacement d'un os par rapport à un autre.

3 Le cœur et la circulation.



a. Hypothèses sur l'organisation de la circulation sanguine.

Dans ces schémas, les différents organes sont reliés par des flèches. Les flèches rouges représentent du sang riche en dioxygène, les flèches bleues du sang riche en dioxyde de carbone et appauvri en dioxygène. Un seul schéma est exact.



b. Schéma du cœur en coupe longitudinale.

Questions

5 Indiquer parmi les quatre schémas du document a celui qui représente correctement la circulation sanguine.

6 Décrire les erreurs que comportent les trois autres schémas.

7 Sur le schéma exact, décrire la position des vaisseaux conduisant le sang oxygéné ou appauvri en dioxygène. À l'aide du schéma du document b, indiquer quelle particularité de la structure du cœur permet cette répartition des deux types de sang.

8 Associer chaque lettre à une légende du schéma du document b.

MÉMO

➤ Au cours de l'inspiration, de l'air pénètre dans les poumons et une partie du dioxygène qu'il contient passe dans le sang.

➤ Les aliments sont transformés en nutriments dans l'intestin et passent dans le sang. À la suite d'un repas, ils sont mis en réserve dans des organes de réserves : foie, muscles, tissu adipeux.

➤ Dioxygène et nutriments sont conduits par la circulation sanguine jusqu'aux cellules qui les prélèvent puis oxydent les nutriments pour libérer leur énergie. Ces réactions constituent la **respiration**.

➤ Le sang est mis en mouvement par le cœur, muscle creux, séparé en deux parties qui évitent le mélange des sangs riche en dioxygène et pauvre en dioxygène. Chaque cœur est constitué d'une oreillette et d'un ventricule qui propulse le sang vers les poumons (sang pauvre en dioxygène) ou vers l'ensemble des organes (sang riche en dioxygène).

➤ Les articulations permettent à deux os contigus de se mouvoir l'un par rapport à l'autre.

Exercice physique et dépenses

➤ La pratique d'une activité physique s'accompagne d'une dépense d'énergie quantifiable. Le bilan énergétique d'un organisme, somme des entrées et des sorties d'énergie doit être nul. Si les apports énergétiques sont supérieurs à la dépense, des réserves s'accumulent et peuvent conduire à une obésité.



1

De l'énergie mécanique convertie en énergie électrique.

Ces personnes produisent de l'électricité en pédalant sur des vélos d'appartement.

Quelle quantité d'énergie dépense-t-on lors d'une activité physique ?

Énergétique



2

a.

Les courses de marathon.

a. Le coureur de Marathon annonçant la victoire.
(Sculpture de Jean-Pierre Cortot 1834, Musée du Louvre, Paris.)

En 490 avant notre ère, à Marathon, les Grecs viennent de remporter la victoire contre les Perses. Philippiès est chargé d'apporter la nouvelle à



b.



Athènes. Il parcourt les 42 km au pas de course et s'écroule à son arrivée, mort d'épuisement.

b. L'épreuve sportive du marathon (42,195 kilomètres), introduite aux Jeux olympiques en 1896, rend hommage à l'exploit de Philippiès.

Quelles sont les limites de l'organisme lors d'un exercice physique ?

3

L'exercice physique pour lutter contre l'obésité.

Il est possible d'éliminer la masse grasse excédentaire en pratiquant une activité physique.

Quel est le type d'exercice physique qui permet de lutter au mieux contre l'accumulation du tissu grasseux ?



La dépense énergétique liée à l'effort physique



Nous savons que les organes effectuent en permanence des échanges avec le sang : ils y prélèvent des nutriments et du dioxygène. L'énergie chimique des nutriments est libérée lors de leur réaction avec le dioxygène. Elle est utilisée pour le fonctionnement des organes.



Comment peut-on évaluer la dépense énergétique due à l'activité musculaire ?

OBJECTIFS

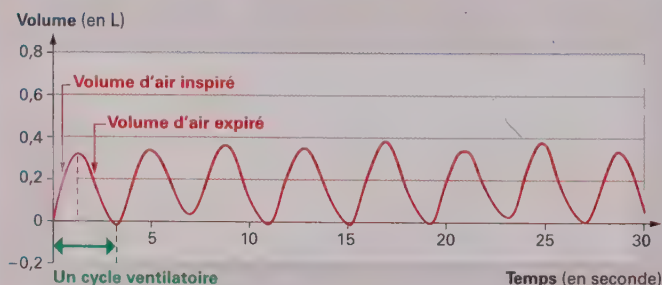
- **Connaissances** : évaluer la dépense énergétique à partir de la consommation en dioxygène.
- **Capacités** : utiliser les technologies de l'information et de la communication (ExAO).

A Débit ventilatoire et prélèvement de dioxygène au repos



1 Dispositif ExAO permettant de mesurer le prélèvement de dioxygène d'un individu.

Dans cette expérimentation assistée par ordinateur (ExAO), un spiromètre ① est associé à une sonde à dioxygène ②. Ce dispositif permet de mesurer les teneurs en dioxygène de l'air inspiré et de l'air expiré. Le spiromètre utilisé seul mesure successivement les volumes d'air inspiré et d'air expiré. On obtient ainsi la mesure de débit ventilatoire*.



Teneur en O_2 dans 1 L d'air inspiré	Teneur en O_2 dans 1 L d'air expiré
210 mL	160 mL

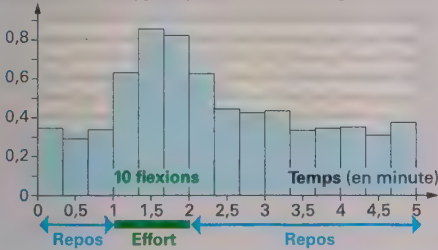
3 Teneur en dioxygène de l'air inspiré et de l'air expiré au repos.

2 Mesures du volume d'air ventilé au repos (position assise).

B

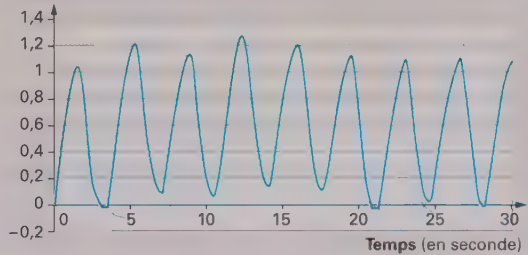
Débit ventilatoire et prélèvement de dioxygène au cours d'un effort

Un élève, mesurant 1,55 m et pesant 50 kg, effectue un effort modéré (10 flexions en 1 minute) suivi d'une période de récupération. À l'aide du dispositif ExAO du document 1, on enregistre le graphe du document 4.

Volume de dioxygène prélevé (en $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

4 Prélèvement de dioxygène.

Volume (en L)



5 Volume d'air ventilé au cours d'un effort.

C

Évaluation de la dépense énergétique



6 Dépense énergétique et consommation de dioxygène.

Un organisme au repos consomme du dioxygène. Il dépense de l'énergie pour assurer le fonctionnement de ses divers organes.

L'organisme ne dispose que de très peu de réserves de dioxygène, si bien que la mesure du prélèvement de dioxygène correspond à la consommation de dioxygène par l'ensemble des organes.

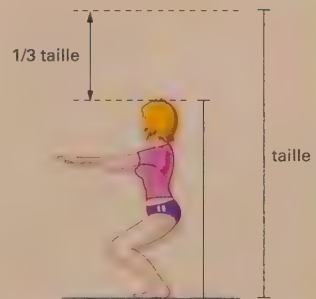
L'énergie libérée par l'oxydation des nutriments est en moyenne de 20 kJ par litre de dioxygène consommé.

7 Dépense énergétique au cours d'un effort physique.

L'énergie mécanique ou travail musculaire est exprimée en joules. On peut évaluer le travail musculaire (T) effectué au cours de flexions par la formule suivante :

$$T = \text{masse (kg)} \times g (\text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \times \text{taille (m)} \times \frac{1}{3} \times \text{nombre de flexions}$$

(g = accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).



EXPLOITATION

- Calculer le débit ventilatoire au repos et le prélèvement de dioxygène correspondant (doc. 2 et 3).
- Calculer le débit ventilatoire au cours d'un effort (doc. 5). Comparer ce résultat avec le débit ventilatoire au repos.
- Déterminer le volume de dioxygène prélevé au cours de la période pendant laquelle l'élève a réalisé les flexions (doc. 4).
- Calculer la dépense énergétique associée à la réalisation des flexions (doc. 4 et 6).
- Calculer l'énergie mécanique (travail musculaire) (doc. 7) dépensée lors de la réalisation des flexions. Comparer cette valeur à celle calculée à la question 4.

VOCABULAIRE

- Volume courant** : volume d'air ventilé au cours de l'inspiration ou de l'expiration qui suit.
- Cycle ventilatoire** : succession d'une inspiration et d'une expiration.
- Fréquence ventilatoire** : nombre de cycles ventilatoires par minute.
- Débit ventilatoire** : volume d'air inspiré (ou expiré) par minute.

Les limites des performances sportives

Nous savons qu'un effort s'accompagne d'une consommation accrue de dioxygène.



Comment évaluer les limites des performances sportives au travers de la consommation de dioxygène ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : définir la consommation maximale de dioxygène ($\dot{V}O_2$, max).
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

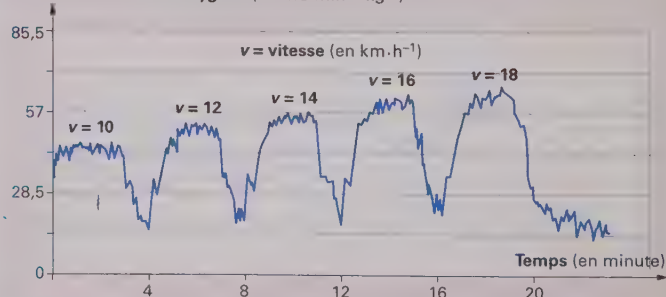
A Le test d'effort



1 Un sportif au cours d'un test d'effort sur un tapis roulant.

Il est possible de mesurer les limites des réponses de l'organisme à l'effort physique au cours d'un test d'effort. L'individu effectue un exercice physique d'intensité croissante jusqu'à la limite de l'épuisement. Ce test est donc toujours réalisé sous contrôle médical. L'appareil utilisé, un tapis roulant ou une bicyclette ergométrique, permet de contrôler la puissance d'effort imposée. La consommation de dioxygène peut être mesurée en permanence.

Consommation de dioxygène (en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)



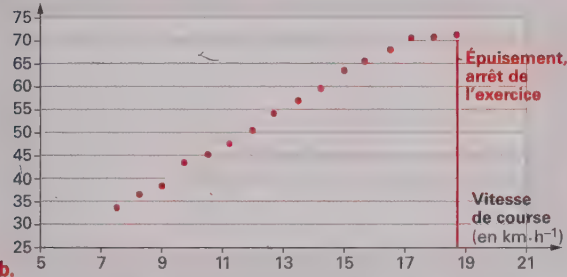
2 Enregistrement de la consommation de dioxygène au cours du test d'effort.

Le test est réalisé par un coureur de demi-fond sur un tapis roulant. La vitesse de course est augmentée par palier et maintenue pendant 3 minutes avec un arrêt d'une minute entre chaque palier.



3 Évolution de la consommation de dioxygène en fonction de la vitesse de course.

Consommation de dioxygène (en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

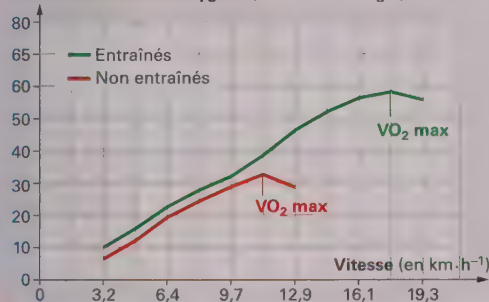


b.

a. Un coureur bien entraîné réalise un test d'effort. La vitesse de course est augmentée toutes les minutes, sans interruption de l'effort.

b. La consommation de dioxygène est relevée à la fin de chaque minute.

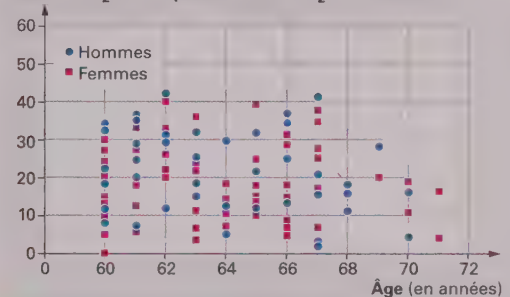
Consommation de dioxygène (en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)



4 Effet de l'entraînement sur la consommation maximale de dioxygène.

Un test d'effort est réalisé par deux groupes de sujets, les uns entraînés et les autres non entraînés. La consommation de dioxygène diminue légèrement au-delà de la $\text{VO}_2 \text{ max}$. L'organisme utilise alors des mécanismes ne faisant pas appel au dioxygène pour récupérer l'énergie des nutriments*.

Gain de $\text{VO}_2 \text{ max}$ exprimé en % de $\text{VO}_2 \text{ max}$ initiale



5 Amélioration de la $\text{VO}_2 \text{ max}$ chez des personnes ayant suivi un même programme d'entraînement.

Les gains de $\text{VO}_2 \text{ max}$ sont exprimés en % de la $\text{VO}_2 \text{ max}$ initiale. Les mesures sont réalisées après 12 mois d'entraînement chez des hommes et des femmes âgés de 60 à 71 ans.

EXPLOITATION

1. Relever la consommation de dioxygène obtenue après 3 minutes pour chaque vitesse de course (doc. 2).
2. Construire le graphique représentant la consommation de dioxygène en fonction de la vitesse de course (→ voir fiche méthode p. 260).
3. Décrire l'évolution de la consommation de dioxygène.
4. Comparer le document 3 au graphique construit précédemment. Quelle information nouvelle apporte-t-il ?
5. Quelle devrait être l'évolution de la consommation de dioxygène sur le document 2 si on laisse la personne courir au-delà de 18 km/h ?
6. Déterminer l'effet de l'entraînement sur la $\text{VO}_2 \text{ max}$ et les performances sportives (doc. 4).
7. Identifier les paramètres intervenant dans l'évolution de la $\text{VO}_2 \text{ max}$.

VOCABULAIRE

VO_2 : volume de dioxygène prélevé en une minute par l'organisme au niveau des poumons et rapporté au poids de l'individu. Il représente également la consommation de dioxygène par l'organisme. Il est exprimé en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$\text{VO}_2 \text{ max}$: valeur maximale du VO_2 .

Nutriments : produits de la digestion des aliments complexes (glycogène, protéines...) et aliments simples ne nécessitant pas de digestion (sels minéraux par exemple) qui passent dans le sang au niveau de l'intestin.

L'exercice physique, un moyen de lutter contre l'obésité

Nous savons que la consommation de nutriments augmente lors d'une activité sportive.



Comment l'exercice physique permet-il de lutter contre l'obésité ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre comment les réserves sont utilisées au cours d'un exercice physique.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Masse d'un organisme et nature de ses réserves

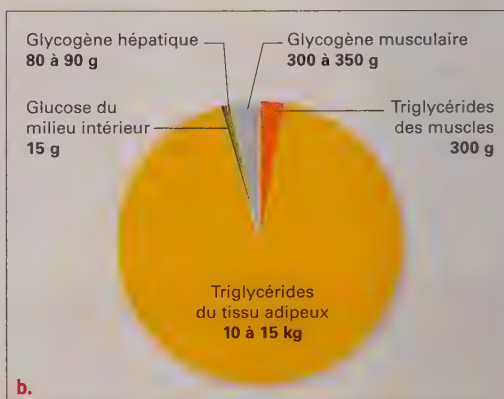
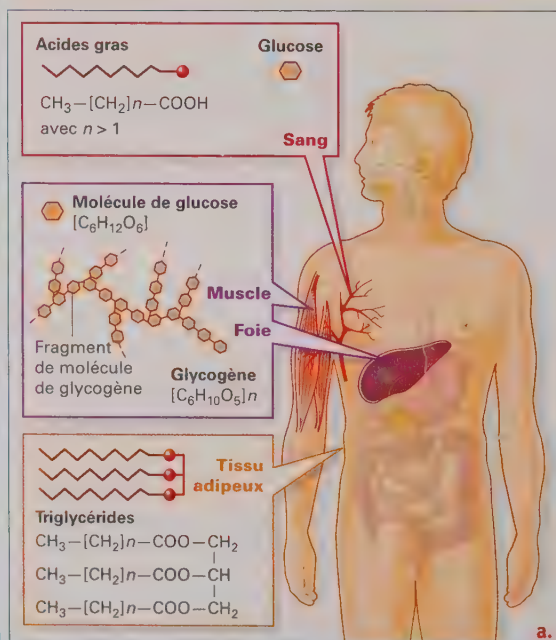
1 Relation entre la masse corporelle d'un individu et sa taille.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) définit l'obésité comme « un excès de masse grasse qui entraîne des conséquences néfastes pour la santé ».

L'indice de masse corporelle (IMC = masse (kg) / taille² (m²)) permet d'évaluer par un calcul simple la corpulence. Chez

une personne de 75 kg et mesurant 1,80 m, l'IMC est égal à : $75 / (1,8)^2 = 23,15$. Le tableau ci-dessous consigne les valeurs limites d'IMC permettant de définir diverses catégories chez l'adulte (classification de l'OMS).

Catégorie	Masse insuffisante	Masse souhaitable	Pré-obésité	Obésité
IMC chez l'adulte	< 18,5	18,5 à 24,9	25 à 29,9	> 29,9



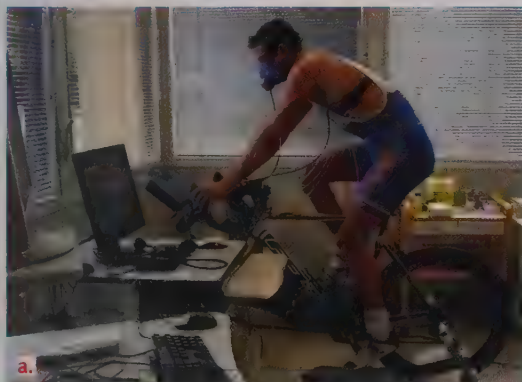
2 Les réserves de l'organisme estimées pour un homme de masse égale à 70 kg.

Le glycogène est une source de glucose et les triglycérides d'acides gras. Glucose et acides gras sont des nutriments. Ils sont donc directement utilisables par les cellules. Le tissu adipeux constitue la masse grasse de l'organisme.

a. Nature et localisation des réserves.

b. Masse des réserves (nature, localisation et quantité).

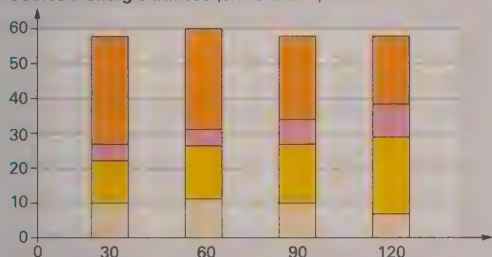
B Activité sportive et consommation des réserves



3 Nature des réserves utilisées suivant l'intensité de l'effort.

a. Enregistrement des données. Les exercices physiques sont réalisés par des cyclistes sur une bicyclette ergométrique pendant 30 minutes. PM est la puissance de l'exercice atteinte en même temps que la VO_2 max.

Source d'énergie utilisée (en $\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$)

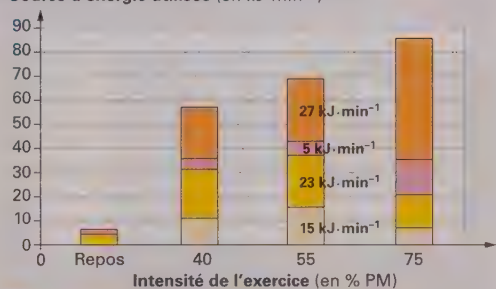


Durée de l'exercice (en min) lorsque intensité = 60 % PM

Glycogène musculaire Acides gras sanguins
Glucose sanguin Autres sources d'acides gras

4 Substrats énergétiques utilisés suivant la durée de l'effort. Des exercices, de même intensité mais de durée variable, sont réalisés par des cyclistes sur une bicyclette ergométrique.

Source d'énergie utilisée (en $\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$)



Intensité de l'exercice (en % PM)

Glycogène musculaire Acides gras sanguins
Glucose sanguin Autres sources d'acides gras

b. Nature des réserves utilisées. Les acides gras sanguins proviennent essentiellement de la dégradation des triglycérides stockés dans le tissu adipeux. Les autres acides gras sont issus principalement de la dégradation des triglycérides musculaires. Pour une intensité d'exercice équivalente à 55 % de la PM, l'organisme dépense 70 kJ par minute. Sur ces 70 kJ, environ 27 proviennent du glycogène musculaire, 5 du glucose sanguin, 23 des acides gras sanguins et 15 des autres sources d'acides gras.

Fréquence	Intensité	Durée	Type
6 à 7 jours par semaine	Modérée (environ 50 % de la VO_2 max)	Au moins 30 minutes par jour en une ou plusieurs fois	Toute activité pouvant être réalisée d'intensité comparable à la marche rapide

5 Activité physique recommandée pour l'ensemble de la population adulte par le programme national « nutrition santé ».

SITES À CONSULTER

- <http://www.mangerbouger.fr>
- <http://www.nutritiondusport.fr>

EXPLOITATION

- D'après le document 1, relever les critères permettant de diagnostiquer une obésité.
- Recenser les principales sources de nutriments utilisables par les muscles (doc. 2).
- Déterminer les particularités des réserves énergétiques d'un individu obèse (doc. 1 et 2).
- Construire le graphique présentant la quantité d'énergie provenant des acides gras sanguins en $\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$ en fonction de l'intensité de l'exercice (doc. 3). Que peut-on constater ?

5. En utilisant les documents 3 et 4, déterminer les caractéristiques d'une activité physique la plus efficace pour lutter contre l'obésité. Justifier.

6. Comparer ces caractéristiques aux recommandations actuelles officielles concernant l'intensité et la durée de l'activité physique (doc. 5).

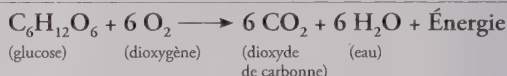


Effort physique et dépense énergétique



1 Sportif consommant une boisson énergétique au cours d'un effort.

• Les **nutriments**, qui proviennent de la digestion des composés organiques (glucides, lipides, protides et acides nucléiques) présents dans notre alimentation, sont la **source de l'énergie** permettant les diverses activités cellulaires. Cette énergie devient utilisable à la suite de leur oxydation grâce au dioxygène (O_2).



Énergie = énergie chimique utilisable par la cellule
+ chaleur ou énergie thermique (non utilisable)

• Lors d'un exercice physique, les muscles oxydent davantage de nutriments qu'au repos (doc. 2). La **consommation accrue de dioxygène** correspond à l'augmentation de la dépense énergétique occasionnée par l'exercice.

• Les réserves en dioxygène de l'organisme sont très faibles, voire négligeables. Un volume donné de dioxygène prélevé dans le milieu pendant un temps donné (VO_2) correspond intégralement au volume de dioxygène consommé dans la respiration, qui fournit l'énergie dépensée par l'organisme. Il est possible de calculer la **dépense énergétique** d'un organisme au repos ou au cours d'une activité physique à partir de la consommation de dioxygène (**activité 1**). On utilise pour cela le coefficient thermique de l'oxygène : c'est l'énergie dépensée chaque fois qu'un litre de dioxygène est consommé pour oxyder un nutriment ; il est en moyenne de 20 kilojoules (kJ).

• Chez l'homme adulte, la **consommation de dioxygène** (VO_2) est en moyenne de $0,250 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ au repos. Elle correspond à une dépense énergétique de $5 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1}$ au repos. La dépense énergétique journalière d'un homme est en moyenne de 10^4 kJ .

• Au cours d'un exercice physique, la **fréquence ventilatoire** et le volume d'air inspiré lors de chaque cycle augmentent, ce qui entraîne une augmentation du **débit ventilatoire** (**activité 1**). Celui-ci peut passer de 6 litres par minute au repos à plus de 120 litres par minute lors d'un effort intense. Le sang qui irrigue les poumons peut ainsi prélever plus de dioxygène et en délivrer davantage aux muscles dont la consommation augmente.



Muscle

	Sang entrant dans le muscle	Sang sortant du muscle
Dioxygène	20 mL	16 mL
Dioxyde de carbone	50 mL	53 mL
Nutriment (glucose)	90 mg	87 mg

a. Muscle au repos.

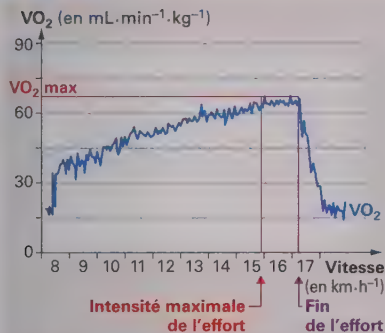
	Sang entrant dans le muscle	Sang sortant du muscle
Dioxygène	20 mL	2 mL
Dioxyde de carbone	50 mL	67 mL
Nutriment (glucose)	90 mg	50 mg

b. Même muscle lors d'un effort intense.

2 Teneur en dioxygène, en dioxyde de carbone et en nutriments du sang entrant et sortant d'un muscle, au repos et lors d'un effort intense.

Le sang sortant d'un muscle en activité est plus appauvri en dioxygène et nutriments que celui qui sort d'un muscle au repos (valeurs pour 100 mL de sang).

2 Les limites des performances sportives



2 Consommation de dioxygène d'un coureur lors d'un test d'effort.

● Lors d'un test d'effort, un individu mesure sa consommation de dioxygène pour différents paliers d'intensité (des paliers de vitesses croissantes sur tapis roulant par exemple). Sa consommation de dioxygène augmente à chaque palier mais finit par atteindre une limite (**activité 2**). Elle correspond à un seuil de consommation maximale de dioxygène, la $VO_2 \text{ max}$.

● À partir du palier d'effort correspondant à la $VO_2 \text{ max}$, l'organisme utilise d'autres ressources énergétiques, limitées, qui ne font pas appel à la consommation de dioxygène. Cela s'accompagne de la production de substances toxiques qui s'accumulent dans le sang, à l'origine d'une forte augmentation de la sensation de fatigue.

L'effort ne peut donc être maintenu au-delà de quelques minutes à des puissances égales ou supérieures au palier correspondant à $VO_2 \text{ max}$.

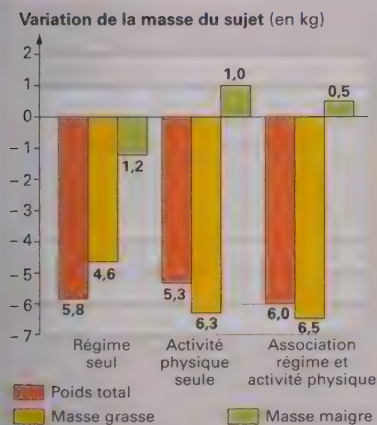
● La $VO_2 \text{ max}$ atteint au maximum 40 à $80 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (doc. 2) suivant les individus.

● La $VO_2 \text{ max}$ est en moyenne plus élevée chez les garçons que chez les filles et augmente avec l'entraînement sportif. Cela explique en partie que les individus entraînés réalisent de meilleures performances, notamment dans les sports d'endurance (**activité 2**).

Les sportifs d'endurance utilisent ce test pour adapter leur effort à une consommation de dioxygène inférieure à celle du $VO_2 \text{ max}$ (exemple : à 80 %). Ils peuvent alors associer efficacité, confort et sécurité.

⇒ (Questions de sciences p. 252)

3 L'exercice physique, un moyen de lutter contre l'obésité



3 Variation moyenne de la masse maigre, de la masse grasse et du poids total chez des individus modérément obèses soumis à différentes conditions.

La perte de poids liée au seul régime alimentaire entraîne une perte de la masse musculaire, dite « maigre », contrairement à la perte de poids liée à l'activité physique.

● Il existe dans les muscles, le foie et le tissu adipeux des **réserves de matières organiques** : glycogène dans les muscles et le foie, triglycérides (lipides) dans le tissu adipeux (**activité 3**). Elles se constituent après la digestion des aliments. À la suite de leur absorption (passage dans le sang), une partie des nutriments est stockée dans les tissus. En cas de besoin, ces nutriments sont libérés dans le sang et distribués aux organes. Ils constituent en particulier une **source d'énergie** pour l'organisme à jeun : le glycogène fournit du glucose et les triglycérides des acides gras. Cela explique que l'on n'ait pas besoin de s'alimenter pendant l'exercice.

● La dépense énergétique augmente fortement au cours d'un exercice physique : pour prévenir l'**obésité** ou la combattre, un régime alimentaire adapté est plus efficace s'il s'accompagne d'une activité physique (doc. 3). Par ailleurs, les exercices d'intensité modérée (correspondant à des consommations d'environ 50 % de la $VO_2 \text{ max}$) et de longue durée, sont particulièrement efficaces, car ils permettent d'oxyder préférentiellement les nutriments lipidiques (**activité 3**). Les organismes officiels recommandent de pratiquer de telles activités au moins 30 minutes par jour. ⇒ (Questions de sciences p. 254)

● Au cours d'un exercice intense, les glucides sont la principale source d'énergie. En deux heures, les stocks hépatiques et musculaires de glycogène peuvent être épuisés. Il est donc conseillé d'absorber régulièrement du sucre sous la forme de boissons sucrées au cours de ce type d'activité.

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Exercice physique et dépense énergétique



Glucose et acides gras sont les **nutriments** utilisés par les muscles lors d'un exercice physique.

La **dépense énergétique** de l'organisme augmente fortement lors d'une activité physique.

La respiration, **oxydation des nutriments** en présence de dioxygène, fournit une **énergie chimique** utilisable par l'organisme. Lors d'un travail musculaire, elle est convertie en énergie mécanique et en chaleur. Plus l'effort est **intense**, plus la consommation de dioxygène et de nutriments **augmente**.

Il existe une **limite au prélèvement de dioxygène** notée $VO_2 \text{ max}$. C'est le volume de dioxygène maximal que l'organisme peut absorber en une minute au niveau des poumons. Cette valeur maximale est exprimée en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La **$VO_2 \text{ max}$** augmente avec l'entraînement sportif. Une $VO_2 \text{ max}$ élevée explique en partie les meilleures performances sportives d'un individu entraîné.

Il existe des **réserves limitées** de glucose sous forme de molécules de glycogène stockées principalement dans les muscles, mais aussi dans le foie. Les acides gras sont stockés sous forme de triglycérides principalement dans le tissu adipeux.

Les individus **obèses** possèdent un excédent de **masse grasse**, soit un excès de tissu adipeux.

Une **activité sportive régulière** permet de réduire la masse grasse de l'organisme en évitant la fonte musculaire. En association avec un régime alimentaire adapté, elle permet de lutter contre l'obésité.

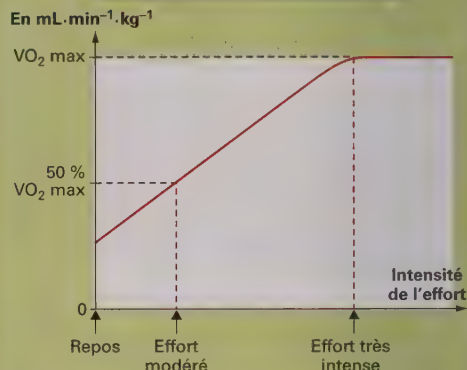
Les exercices physiques **d'intensité modérée et de longue durée** sont ceux qui utilisent le plus les réserves de triglycérides.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

- Utiliser les technologies de l'information et de la communication.
- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Manipuler et expérimenter.
- Être conscient de sa responsabilité face à la santé.
- Avoir une bonne maîtrise de son corps.

■ Évolution de la $VO_2 \text{ max}$ et de la dépense énergétique

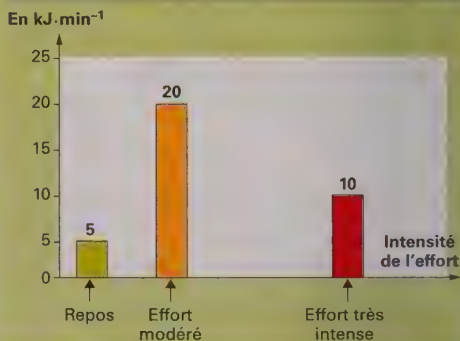
Consommation de dioxygène



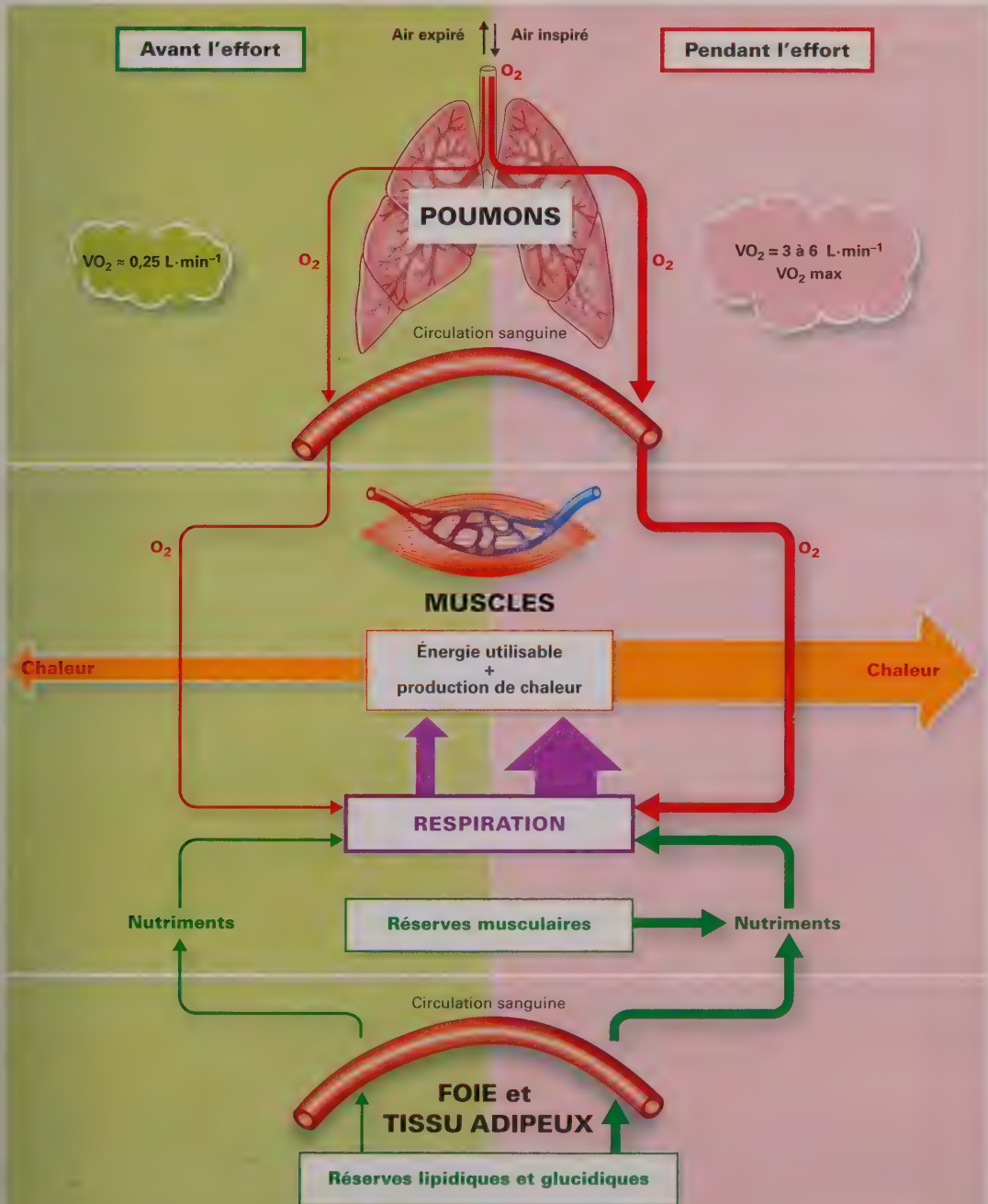
Dépense énergétique pour un homme de 70 kg



Utilisation des lipides provenant du tissu adipeux



■ Dépense énergétique en fonction de l'activité



L'épaisseur des flèches indique une augmentation de la consommation et de la production.

Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Le volume courant correspond :
 1. au volume d'air inspiré ou expiré lors de chaque cycle ventilatoire.
 2. au volume de dioxygène absorbé par l'organisme lors de chaque cycle ventilatoire.
 3. au volume d'air échangé par l'organisme en une minute.
- b.** Lors d'efforts physiques d'intensité croissante :
 1. la consommation de dioxygène par les muscles augmente indéfiniment.
 2. la consommation de dioxygène par les muscles augmente et se stabilise.
 3. les consommations de dioxygène et de nutriments augmentent.
- c.** Le glucose :
 1. est un nutriment utilisé par les muscles.
 2. est le seul nutriment utilisé par les muscles.
 3. est stocké dans le muscle sous forme de molécules de glycogène.
- d.** Lors d'un effort effectué à une puissance correspondant à la VO_2 max :
 1. la consommation de dioxygène ne peut plus augmenter.
 2. les muscles utilisent principalement les réserves de lipides de l'organisme.
 3. les muscles utilisent principalement leurs réserves de glucose.

2 Vrai ou faux ?

EXERCICE CORRIGÉ

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Le dioxygène est une source d'énergie pour les muscles.
- b.** Toute l'énergie consommée par les muscles est utilisée pour effectuer le mouvement.
- c.** Le sang sortant du muscle en activité est très appauvri en dioxygène et en glucose.
- d.** Au repos, les muscles ne consomment pas de dioxygène.
- e.** Il existe des réserves importantes de dioxygène dans l'organisme.

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Obésité
- b.** VO_2 max
- c.** Débit ventilatoire
- d.** Nutriments
- e.** Volume courant
- f.** Cycle ventilatoire

4 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Il existe des réserves importantes de nutriments dans l'organisme.
- b.** Le glycogène est un nutriment utilisé par les muscles.
- c.** Les acides gras sont des nutriments utilisés par les muscles.
- d.** Les réserves de lipides sont les plus abondantes réserves de nutriment dans l'organisme.
- e.** Les exercices très intenses sont les plus adaptés pour lutter contre l'obésité.

5 Restitution organisée de connaissances

Répondre aux questions suivantes.

- a.** Écrire la réaction permettant aux muscles de produire de l'énergie.
- b.** Quelles sont les réserves de nutriments de l'organisme ?
- c.** Pourquoi le prélèvement de dioxygène dans le milieu extérieur doit-il être continu ?
- d.** Pourquoi le prélèvement de nutriments dans le milieu extérieur peut-il être discontinu ?

6 Construction d'une phrase

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a.** Travail musculaire, énergie, mouvement.
- b.** Glucose, énergie, dioxygène.
- c.** Débit ventilatoire, volume courant, fréquence ventilatoire.
- d.** Muscle, glucose, glycogène, exercice physique.

7 Chercher l'intrus

Dans chaque liste, trouver l'intrus et justifier votre réponse.

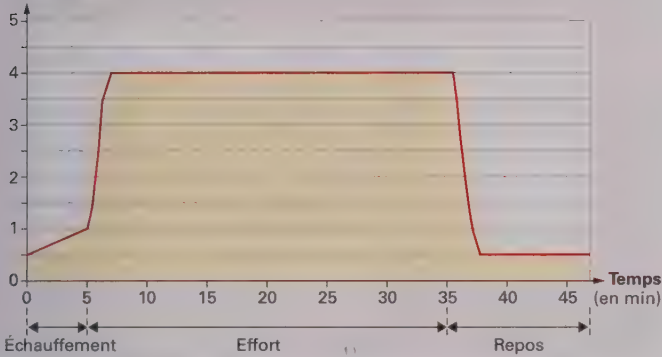
- a.** Poumons, air, respiration, prélèvement de dioxygène, débit ventilatoire.
- b.** Dépense énergétique, nutriments, exercice physique, dioxygène, obésité.
- c.** Réserves, glucose, acides gras, respiration, énergie chimique utilisable.
- d.** Obésité, exercice physique, glycogène, triglycérides, acides gras.
- e.** Consommation de dioxygène, travail musculaire, glucose, VO_2 max, dépense énergétique.
- f.** Sang, acides gras, glucose, dioxygène, glycogène.

8 Question à choix multiple avec documents



À partir des informations tirées du document proposé, relever les affirmations vraies et corriger celles qui sont fausses.

Consommation de dioxygène (en $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)



Le document montre que :

- a. la consommation de dioxygène est d'environ $0,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ au repos chez cette personne.
- b. la consommation maximale de dioxygène est d'environ $4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ chez cette personne.
- c. l'individu effectue un effort d'intensité constante.
- d. l'intensité de l'effort est beaucoup plus importante pendant la course qu'au cours de l'échauffement.
- e. la consommation de dioxygène reprend immédiatement sa valeur de « repos » à la fin de l'effort.

Consommation de dioxygène en fonction du temps et de l'effort.

L'effort qui débute après une période d'échauffement de 5 minutes est une course de 30 minutes à vitesse élevée, mais ne correspondant pas à la $\text{VO}_2 \text{ max}$.

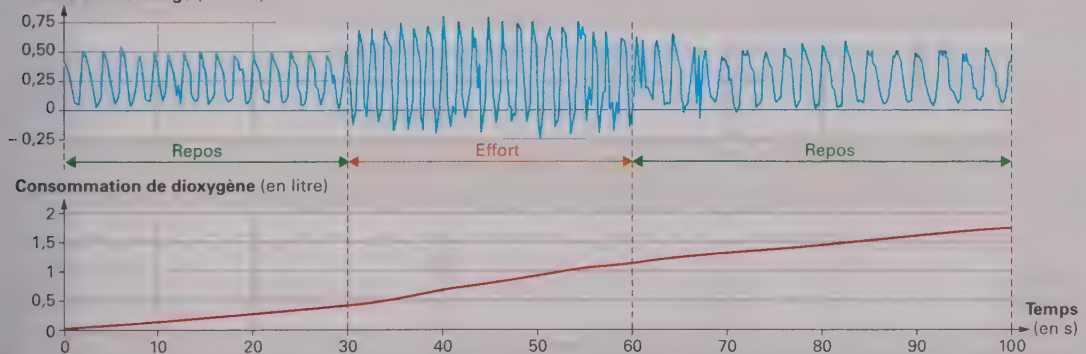
Analyser des documents

9 Effort et consommation de dioxygène Pratiquer un raisonnement scientifique

EXERCICE CORRIGÉ

Un système d'expérimentation assisté par ordinateur permet de mesurer les variations du volume d'air qui pénètre dans les poumons et d'estimer le volume de dioxygène consommé dans différentes conditions.

Volume d'air échangé (en litre)



Enregistrements obtenus avant, pendant et après un effort physique d'intensité moyenne.

L'exercice physique correspond à 20 flexions réparties sur 30 secondes.

- a. Calculer le débit ventilatoire moyen du sujet au repos, puis pendant l'effort.
- b. Calculer la consommation de dioxygène en $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ au repos, puis pendant l'effort.
- c. Comparer l'évolution de ces deux paramètres au cours de l'effort.
- d. Le coefficient thermique du dioxygène étant en moyenne de 20 kJ par litre de dioxygène consommé, calculer la consommation d'énergie de cet individu au repos et lors d'un effort.
- e. Quelle explication peut-on proposer aux variations observées ?

10 Effet de différents paramètres sur la VO_2 max

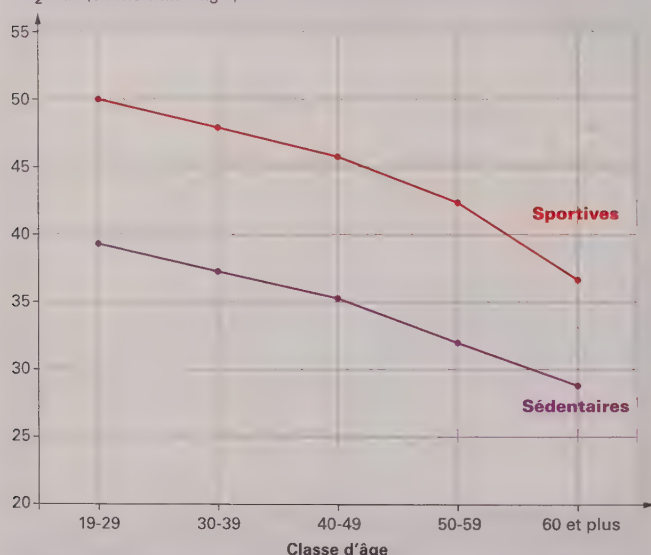
Pratiquer un raisonnement scientifique

Âge (années)	VO_2 max ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	
	Sédentaires	Sportives
8	32,6	35,6
9	32,6	37,1
10	32,6	38,6
11	34,1	40,1
12	34,1	41,6
13	35,6	41,6
14	35,6	43,1
15	37,1	43,1
16	37,1	44,6
17	37,1	44,6
18	37,1	46,1

1 Consommation maximale de dioxygène en fonction de l'âge chez des jeunes filles sédentaires et sportives.

- Construire à l'aide du document 1, le graphique présentant l'évolution de la VO_2 max en fonction de l'âge chez des jeunes filles sédentaires.
- Décrire le graphique obtenu.
- En déduire l'influence de l'âge entre 8 et 18 ans sur la VO_2 max.
- Tracer sur le même graphique l'évolution de la VO_2 max en fonction de l'âge chez des jeunes filles sportives.
- Comparer les deux courbes obtenues.
- En déduire l'influence de l'entraînement sur la VO_2 max.

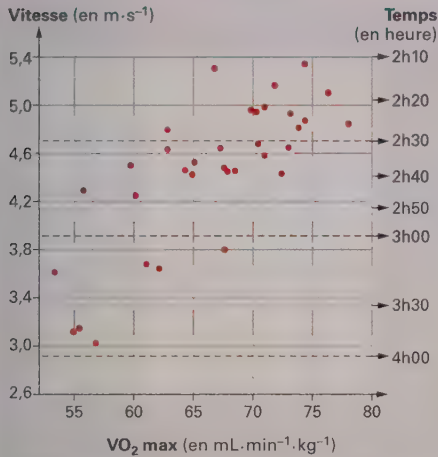
VO_2 max (en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)



2 Évolution de la VO_2 max chez des femmes adultes en fonction de l'âge.

- Décrire l'évolution de la VO_2 max en fonction de l'âge chez des femmes adultes.
- En déduire l'influence de l'âge sur la VO_2 max au-delà de 18 ans.

11 VO₂ max et performance Pratiquer un raisonnement scientifique



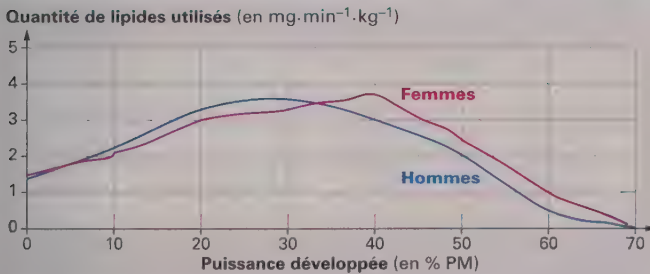
1 Performances obtenues chez différents coureurs de marathon.

État sportif	VO ₂ max (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	
	Homme	Femme
Non entraîné (sédentaire)	40	35
Sprinter (100 et 200 m)	57,9	53,4
Rameur (aviron)	68,6	59,7
Cycliste	75,3	62,6
Marathonien	77,3	68,9

2 Consommation maximale de dioxygène chez différentes personnes, sédentaires ou sportives. Chez les sportifs, les résultats sont ceux des équipes nationales masculines et féminines.

- À l'aide du document 1, établir la relation entre VO₂ max et performance sportive.
- Déterminer l'effet de l'entraînement sur la VO₂ max (document 2).
- Expliquer pourquoi il existe des épreuves distinctes pour les hommes et les femmes dans les compétitions sportives (document 2).
- Relever sur le document 1 les temps de course obtenus par des personnes ayant une VO₂ max d'environ 67 mL·min⁻¹·kg⁻¹. Quelle conclusion peut-on en tirer ?

12 Effet de différents paramètres sur l'utilisation des réserves lipidiques Pratiquer un raisonnement scientifique



(PM = puissance maximale atteinte en même temps que la VO₂ max.)

	Sportifs		Sédentaires	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
Utilisation maximale de lipides (mg·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	3,7 ± 1,4	3,6 ± 1,7	2,7 ± 1,2	2,7 ± 2,0

2 Utilisation maximale des lipides, en fonction du sexe et de la pratique sportive.

1 Relation entre l'utilisation des lipides et l'intensité de l'exercice chez des hommes et des femmes (tous groupes confondus). L'utilisation des lipides est mesurée en mg de lipides utilisés par minute et par kilogramme de poids corporel.

- Comparer l'évolution de l'utilisation des lipides chez les hommes et les femmes (doc. 1).
- À quelle puissance d'exercice l'utilisation des lipides est-elle maximale chez les hommes et chez les femmes (doc. 1) ?
- Pratiquer des exercices d'intensité supérieure aux deux valeurs définies à la question b (doc. 1) serait-il efficace pour lutter contre l'obésité ?
- Quel est l'effet de l'entraînement sur l'utilisation des lipides par l'organisme (doc. 2) ?

Restituer ses connaissances de façon organisée

13 Les besoins énergétiques accrus au cours de l'effort physique Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Expliquer comment l'organisme fait face à un besoin accru d'énergie au cours d'un effort physique. Les divers processus mis en jeu doivent être distingués.

Exercice physique et en nutriments

➤ Au cours d'un exercice physique, l'organisme absorbe davantage de dioxygène au niveau des poumons et libère plus de nutriments à partir de ses réserves. Nutriments et dioxygène sont pris en charge par la circulation sanguine avant de parvenir aux muscles en activité.



1

Sportifs de triathlon équipés de cardiofréquencemètre.

Lors d'un exercice physique, l'activité de l'appareil circulatoire est modifiée. Le cardiofréquencemètre permet d'enregistrer les variations du rythme cardiaque.

Comment l'activité cardiaque est-elle modifiée lors d'un exercice physique pour répondre aux besoins accrus des muscles ?

et apports en dioxygène



2

La circulation sanguine.

L'ensemble cœur et vaisseaux assure la circulation du sang dans l'ensemble de l'organisme.

Comment l'organisation de la circulation sanguine permet-elle un approvisionnement efficace des organes en dioxygène et en nutriments au repos et au cours d'un effort ?



3

Marco Randrianantoanina, joueur de football, victime d'un arrêt cardiaque lors d'un match.

Après le Sévillan Antonio Puerta et l'Écossais Phil O'Dornell en 2007, le joueur de Niort, Marco Andrianantoanina a été victime d'un arrêt cardiaque le 18 janvier 2008. Contrairement aux deux autres joueurs, il a pu être réanimé grâce à l'intervention des secouristes.

Pourquoi un suivi médical régulier est-il nécessaire lors d'une pratique sportive ?

Le cœur, une pompe dont le débit est mesurable

Nous savons que le cœur est un muscle creux qui se contracte rythmiquement et assure ainsi la circulation du sang.

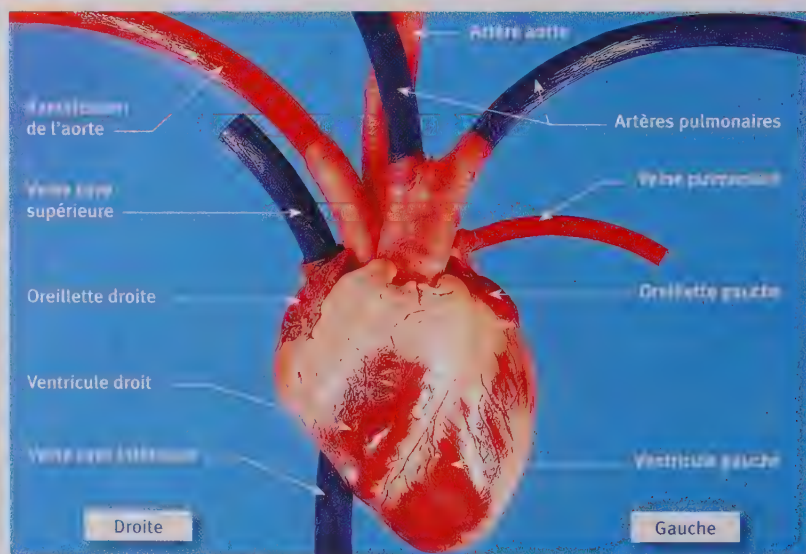


Quelles sont les caractéristiques du fonctionnement cardiaque ?

OBJECTIFS

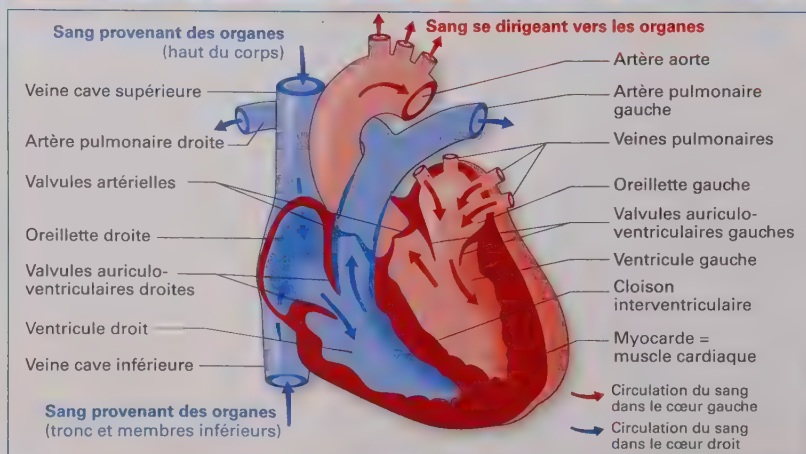
- **Connaissances** : connaître les caractéristiques du cycle cardiaque ; définir le débit cardiaque.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations ; comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématiques.

A Organisation fonctionnelle du cœur



1 Un cœur de mouton vu face ventrale.

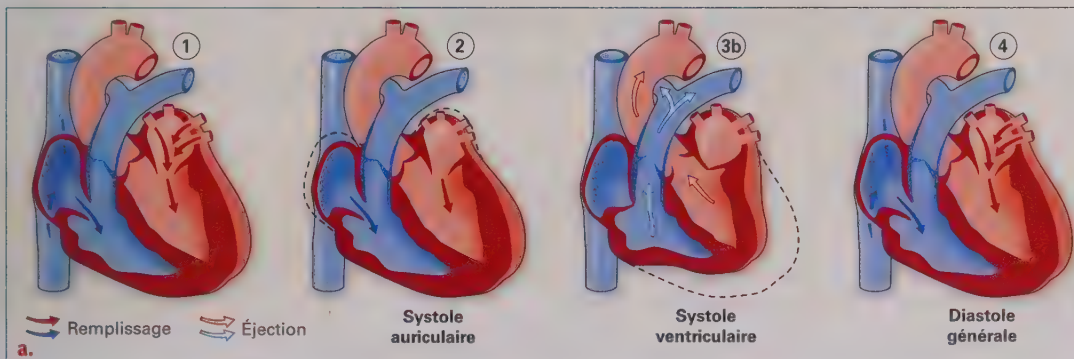
En rouge, les vaisseaux où circule du sang oxygéné. En bleu, les vaisseaux où circule du sang peu oxygéné.



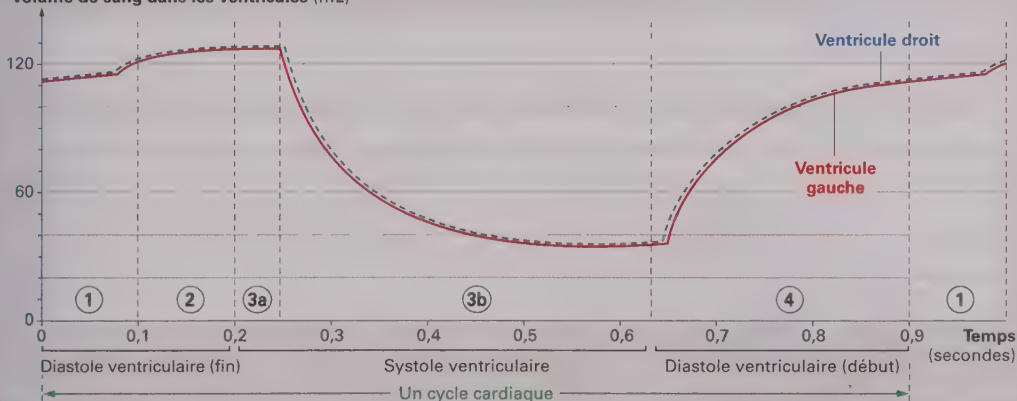
2 Circulation du sang dans les cavités du cœur humain.

Cette coupe longitudinale montre les cavités cardiaques et les vaisseaux qui s'y rattachent.

B Le cycle cardiaque



Volume de sang dans les ventricules (mL)



3 Les caractéristiques du cycle cardiaque.

a. Circulation du sang à l'intérieur du cœur au cours d'un cycle cardiaque.

b. Variation du volume de sang dans les ventricules au cours d'un cycle cardiaque.

La systole correspond à la contraction du muscle cardiaque et la diastole à son relâchement.

VOCABULAIRE

Fréquence cardiaque (FC) : nombre de battements cardiaques par minute.

Volume d'éjection systolique* (VES) : volume de sang éjecté par un ventricule au cours d'une contraction.

Débit cardiaque (DC) : volume de sang éjecté par un ventricule en une minute ($DC = FC \times VES$).

EXPLOITATION

1. À l'aide de vos connaissances et des documents 1 et 2, **indiquer** les caractéristiques du sang qui entre et sort du cœur droit (provenance, teneur en dioxygène, destination). Même question pour le cœur gauche.

2. **Indiquer** dans un tableau, en fonction des trois phases (**doc. 3**) du cycle cardiaque (diastole générale, systole auriculaire et systole ventriculaire) :

- l'état de contraction des parois des quatre cavités du cœur ;
- l'état ouvert ou fermé des valvules artérielles et auriculo-ventriculaires ;
- le remplissage du sang dans les différentes cavités ;
- l'éjection du sang des différentes cavités.

3. **Relever** le volume de sang dans le ventricule gauche au début et à la fin de la période de remplissage. En **déduire** le volume d'éjection systolique* du ventricule gauche (**doc. 3b**). Faire de même pour le ventricule droit (**doc. 3**).

4. **Repérer** la durée d'un cycle cardiaque. En **déduire** la fréquence cardiaque* (**doc. 3**).

5. À l'aide des deux paramètres, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique, **calculer** le débit cardiaque*, au repos, du cœur gauche, puis celui du cœur droit.

6. **Expliquer** la phrase suivante : « Le cœur est formé de deux pompes accolées qui fonctionnent au même rythme. »

L'activité cardiaque au cours de l'exercice physique

Nous savons que le débit cardiaque correspond au volume de sang éjecté par chaque ventricule en une minute. Il est donc égal à la fréquence cardiaque multipliée par le volume d'éjection systolique.



Quelles sont les modifications de l'activité cardiaque au cours d'un exercice physique ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : connaître les variations des paramètres cardiaques au cours d'un exercice physique.
- **Capacités** : expérimenter d'après un protocole.

A Variations de la fréquence cardiaque en fonction de l'intensité de l'effort

Principe de mesure

La fréquence cardiaque est mesurée en continu grâce à un cardiofréquencemètre* fixé autour du thorax. Les données sont enregistrées par une montre réceptrice. On effectue trois enregistrements, comprenant chacun :

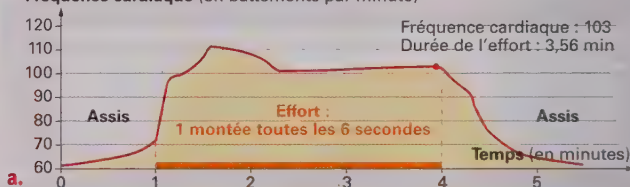
– une phase de repos ;

- une phase d'exercice de 3 minutes. L'exercice physique consiste en une épreuve de step : montées et descentes successives d'une marche ;
- une phase de récupération.



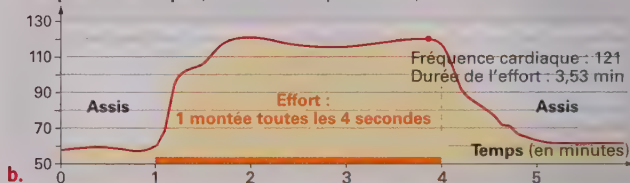
1 Enregistrement de la fréquence cardiaque à l'aide d'un capteur cardiaque et d'une montre réceptrice.

Fréquence cardiaque (en battements par minute)



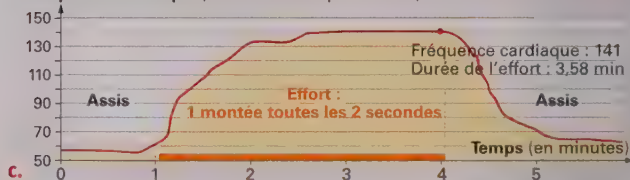
a.

Fréquence cardiaque (en battements par minute)



b.

Fréquence cardiaque (en battements par minute)



c.

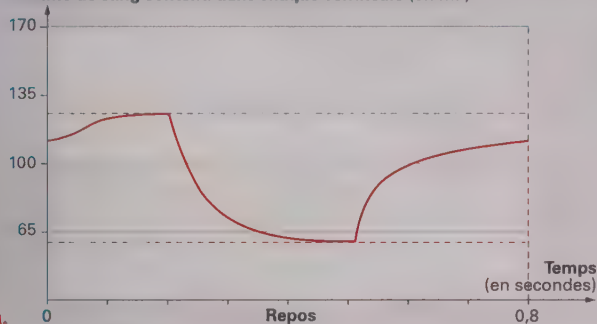
2 Enregistrement de la fréquence cardiaque en fonction de l'intensité de l'effort.

- a. Effort : 1 montée toutes les 6 secondes.
- b. Effort : 1 montée toutes les 4 secondes.
- c. Effort : 1 montée toutes les 2 secondes.

B

Variation du volume d'éjection systolique au cours de l'effort

Volume de sang contenu dans chaque ventricule (en mL)

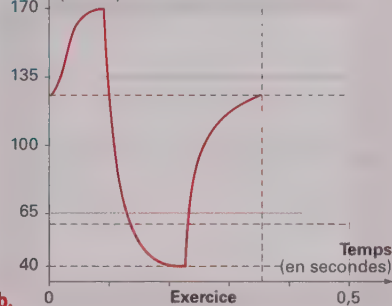


a.

Repos

0,8

Volume de sang contenu dans chaque ventricule (en mL)



b.

Exercice

0,5

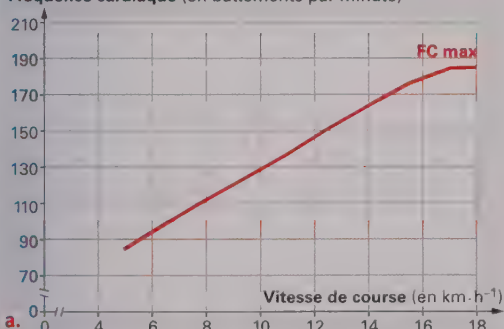
3 Variation du volume de sang dans chaque ventricule en fonction de l'intensité de l'effort.

a. Au repos. b. Au cours d'un effort.

C

Variation du débit cardiaque en fonction de l'intensité de l'effort

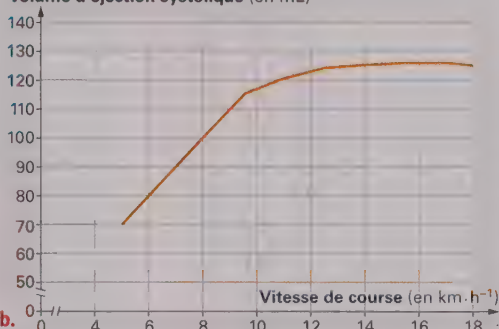
Fréquence cardiaque (en battements par minute)



a.

Vitesse de course (en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

Volume d'éjection systolique (en mL)



b.

Vitesse de course (en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

4 Variations des paramètres cardiaques lors d'un effort physique intense.

Le test a été réalisé chez une personne bien entraînée sur tapis roulant.

a. Variation de la fréquence cardiaque.

b. Variation du volume d'éjection systolique.

Le volume d'éjection systolique est égal au volume d'éjection d'un ventricule au cours d'un cycle cardiaque.

VOCABULAIRE

Cardiofréquencemètre : appareil qui mesure en continu la fréquence cardiaque.

EXPLOITATION

1. Décrire l'évolution de la fréquence cardiaque au cours d'un effort d'intensité constante (choisir un enregistrement parmi ceux proposés dans le document 2).

2. Repérer la fréquence cardiaque à l'équilibre correspondant à chaque intensité d'effort et **construire** un graphique de la fréquence cardiaque en fonction de l'intensité de l'effort. Le commenter.

3. Comparer le volume d'éjection systolique au repos et au cours d'un effort intense (doc. 3).

4. Décrire l'évolution du volume d'éjection systolique en fonction de l'intensité de l'effort (doc. 4).

5. Calculer le débit cardiaque au repos et le débit cardiaque maximal de ce sujet (doc. 4). Par quel facteur a-t-il été multiplié entre le repos et l'effort maximal ?

6. Quelle signification attribuer à ce changement de l'activité cardiaque ?

La double circulation sanguine et l'apport en dioxygène et en nutriments

Nous savons que le débit cardiaque augmente au cours de l'effort. Il assure ainsi un approvisionnement accru en dioxygène et en nutriments à l'organisme.

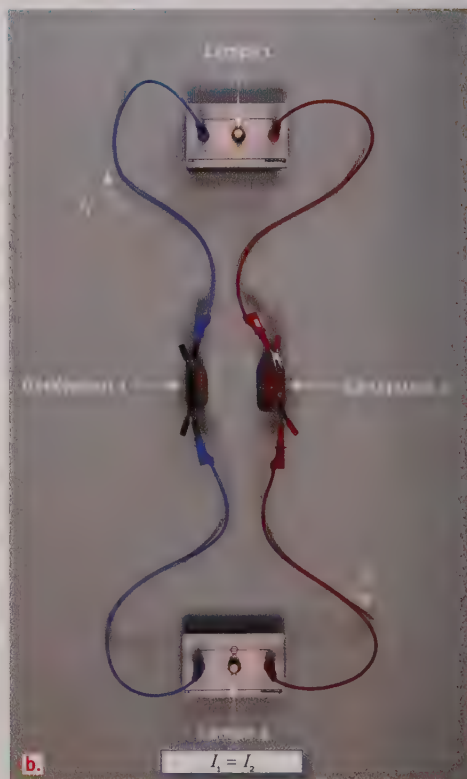
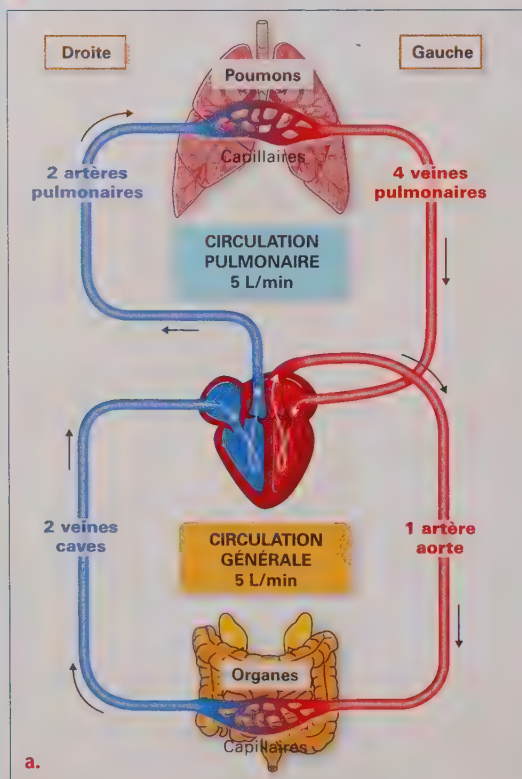


Comment la circulation sanguine distribue-t-elle le dioxygène et les nutriments aux organes, au repos et à l'effort ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : être capable de décrire l'organisation de la circulation sanguine et d'expliquer ses conséquences.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : modéliser.

A La double circulation, un « circuit en série »

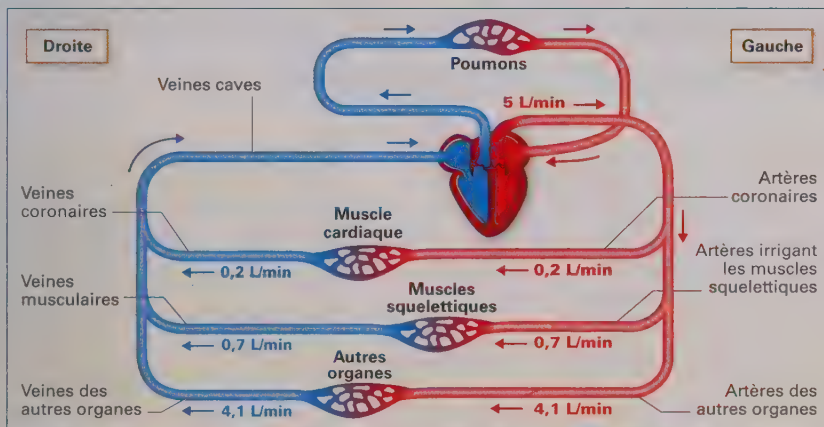


1 La double circulation sanguine.

a. Organisation de la double circulation : circulation pulmonaire et circulation générale.

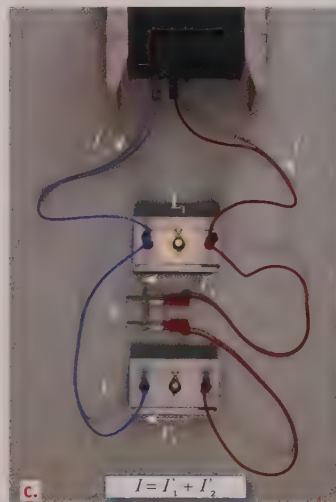
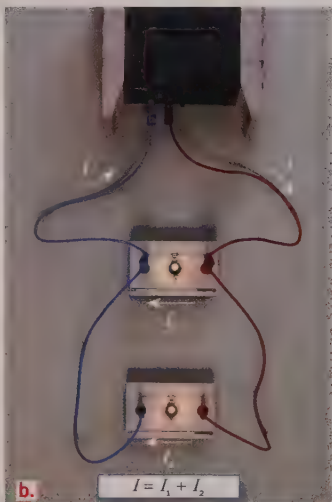
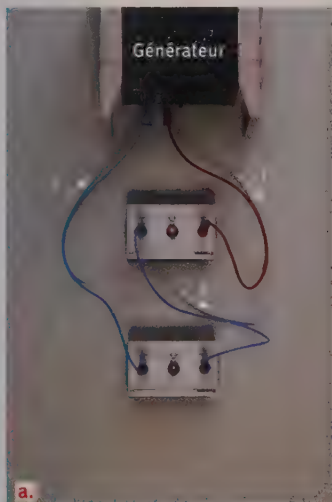
b. Analogie avec un montage électrique « en série » dont les composants (dipôles) sont disposés les uns à la suite des autres. Ils sont montés en série. L'intensité du courant (quantité d'électrons circulant par unité de temps) est la même tout le long du circuit. Les intensités lumineuses des deux lampes sont identiques.

B La circulation générale, un « circuit en parallèle »



2 Circulation générale et débits sanguins locaux au repos.

La majorité des organes de la circulation générale sont en « parallèle » (ou en « dérivation »). Ils sont situés sur des branches différentes ramifiées à partir d'un même tronc. Le débit sanguin correspond au volume de sang écoulé par minute.



3 Modèles analogiques de la circulation générale : montages électriques en série et en parallèle.

Le même générateur de 12 V est utilisé dans les trois montages. Les lampes sont toutes identiques.

a. Montage électrique en série. L'intensité du courant garde la même valeur tout au long du circuit. Les intensités lumineuses des deux lampes sont identiques. Tous les dipôles (lampes) possèdent une résistance électrique ; lorsque la résistance électrique du circuit augmente, par ajout de dipôles, l'intensité du courant diminue.

b. Montage électrique en parallèle. La somme des intensités est égale à l'intensité globale : $I = I_1 + I_2$. Les intensités lumineuses des deux lampes sont identiques.

c. Montage électrique en parallèle comportant un résistor (R) placé entre les lampes L_1 et L_2 . L_2 a une intensité lumineuse plus faible que L_1 .

EXPLOITATION

1. Indiquer à quoi correspondent, dans la circulation sanguine (doc. 1a), les composants du montage électrique (doc. 1b).

2. Quel avantage confère la disposition en série de la double circulation, générale et pulmonaire (doc. 1) ?

3. Préciser le montage électrique qui correspond à la disposition de l'irrigation des organes dans la circulation générale. Quel avantage confère cette disposition en ce qui concerne l'approvisionnement en dioxygène des organes (doc. 2 et 3) ?

4. Indiquer la relation entre le débit sanguin global (mesuré à la sortie du cœur) et les débits sanguins locaux (débit sanguin arrivant à chaque organe ou groupe d'organes).

5. Que montre la comparaison des deux montages électriques (doc. 3a et 3b) ?

6. Quelle modification des débits sanguins locaux peut-on envisager au cours d'un exercice sportif ?

Le couplage fonctionnel des activités ventilatoire et circulatoire

Nous savons que tout le volume de sang appauvri en dioxygène provenant des organes repasse par les poumons pour être réapprovisionné en dioxygène (et se décharger du CO_2).

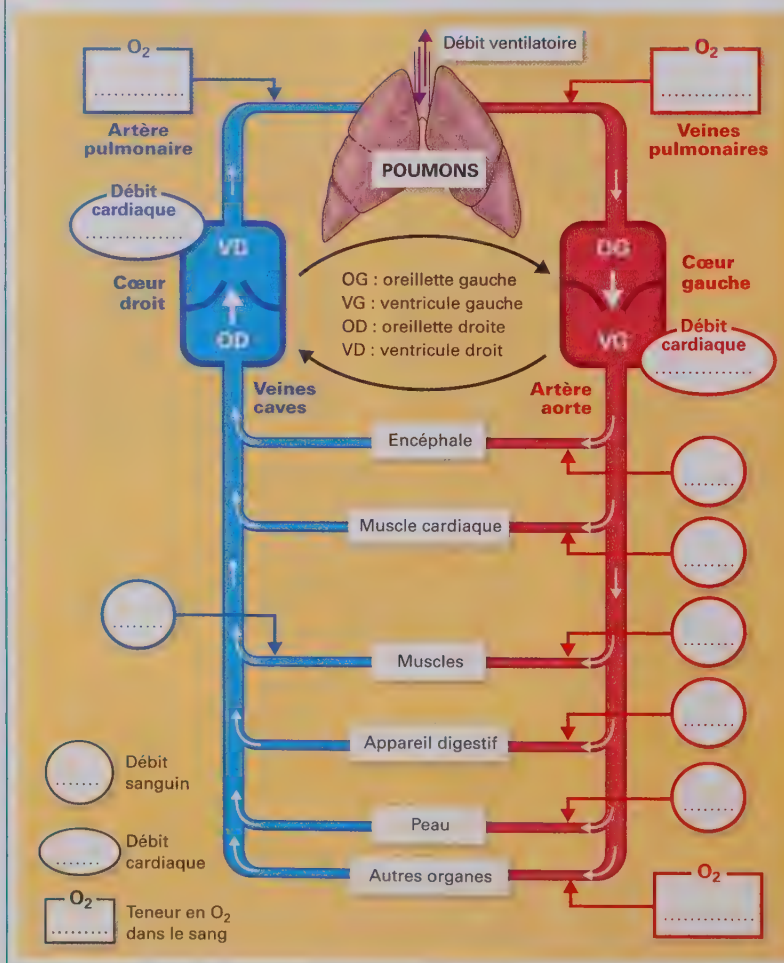


Comment les modifications ventilatoires et circulatoires sont-elles associées dans l'approvisionnement des muscles en dioxygène lors de l'effort ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : savoir expliquer comment les modifications ventilatoires et cardio-vasculaires sont couplées pour assurer les besoins musculaires lors d'un effort.
- **Capacités** : communiquer dans un langage scientifiquement approprié : schéma.

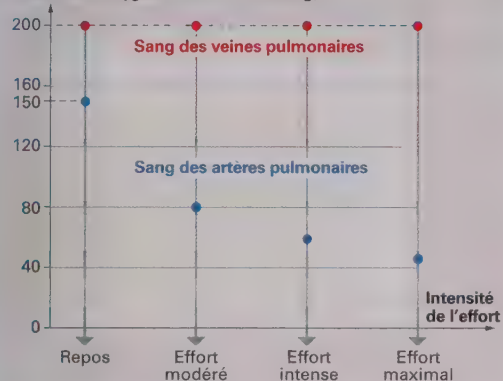
A Double circulation, débit ventilatoire et consommation en dioxygène



1 Modifications des débits sanguins et ventilatoires en fonction de l'activité de l'organisme.

(Ce schéma sera complété au cours de l'activité à l'aide des documents 2, 3 et 4).

Teneur en dioxygène (en mL/L de sang)



2 Évolution de la teneur en dioxygène du sang des artères et des veines pulmonaires en fonction de l'intensité de l'effort.

VOCABULAIRE

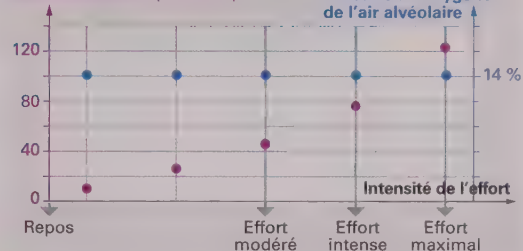
Infarctus : Interruption plus ou moins long de la circulation du sang, provoquant un arrêt de l'approvisionnement en dioxygène des organes.

5 Épreuves d'endurance et troubles digestifs

a. Les conséquences de la redistribution des flux sanguins lors d'un effort intense.

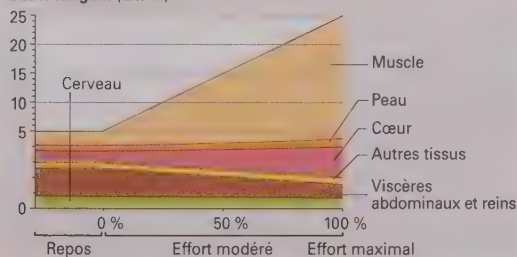
Les problèmes digestifs sont à l'origine de 15 à 20 % des abandons qui surviennent dans les épreuves d'endurance. Au repos, le tube digestif mobilise environ 25 % du débit cardiaque. Au début de l'effort, on assiste à une redistribution de la circulation sanguine. Davantage de sang est délivré aux muscles et au cœur au détriment des autres organes. Ce phénomène est appelé « vol vasculaire » ; il dépend de l'intensité de l'exercice. Le débit sanguin du tube digestif s'abaisse de 25 % à 12 % pour un effort léger et peut même atteindre seulement 3 %. Les cellules intestinales sont pour la plupart privées de dioxygène. Ce phénomène, dans les cas les plus graves, peut s'apparenter à un infarctus* du tube digestif.

Débit ventilatoire (en L/min)



3 Évolution du débit ventilatoire et de la teneur en dioxygène de l'air alvéolaire.

Débit sanguin (L/min)



4 Distribution du débit sanguin au repos et au cours d'un effort.



b. Ce coureur de marathon souffre de maux de ventre.

EXPLOITATION

1. Recopier le schéma du document 1 en double exemplaire, l'un correspondant à la situation de repos, l'autre à un effort maximal. À l'aide des documents 2 à 4, compléter, pour chacun d'eux, les valeurs : débit cardiaque, débit ventilatoire, débits locaux, teneur en dioxygène du sang.

2. Calculer la consommation de dioxygène de l'organisme en une minute par litre de sang, au repos et à l'effort maximal, à partir du document 2.

3. Expliquer le rôle de l'augmentation du débit ventilatoire au cours de l'effort (doc. 2 et 3).

4. Justifier l'expression de « vol vasculaire » réalisé par les muscles au dépend de l'appareil digestif (doc. 4 et 5).

Un bon état cardio-vasculaire indispensable à la pratique sportive

Nous savons qu'une visite médicale est nécessaire avant toute pratique sportive régulière.



Quelle est l'importance de la visite médicale préliminaire lorsqu'on veut pratiquer régulièrement un sport ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre l'importance du suivi médical lors de la pratique sportive.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Cœur et santé



1 Découverte d'un facteur de risque chez un sportif de haut niveau.

Le footballeur, X. Radet devait être transféré d'Auxerre à Strasbourg. Une visite médicale est obligatoire pour réaliser ce transfert.

À l'issue de l'échographie cardiaque, le cardiologue a demandé un examen complémentaire sous la forme d'une IRM (imagerie par résonance magnétique). Cet examen a permis de détecter une cardiomyopathie hypertrophique apicale, affection cardiaque qui expose à un risque de mort subite. Cette anomalie conduit obligatoirement à une interdiction de compétition.

2 Origine des accidents cardio-vasculaires mortels survenus lors d'une activité sportive.

Les causes de mort subite diffèrent selon l'âge. Chez le jeune athlète, on retrouve le plus souvent une anomalie cardiaque qui n'avait pas été diagnostiquée jusqu'alors. En revanche, lorsqu'une personne reprend une activité sportive après 40 ans, le décès est causé en général par un athérome* coronaire. Le rétrécissement des artères coronaires n'autorise plus un débit sanguin suffisant pour irriguer le cœur lors de l'effort. Cependant, les accidents cardio-vasculaires associés à une pratique sportive sont beaucoup moins fréquents que ceux dus à la sédentarité.



3 Artère coronaire rétrécie.

Au cours de l'examen, on injecte de l'iode (produit opaque aux rayons X) dans les artères coronaires (artères irriguant le cœur), ce qui les rend observables.

Le débit sanguin dans la zone du cœur située en aval de l'artère rétrécie est nettement diminué. Les cellules du muscle cardiaque sont alors privées de dioxygène. Lorsqu'elles ne parviennent plus à se contracter, c'est l'infarctus du myocarde.

SITES À CONSULTER

- <http://www.imcv-cardio.com>
- <http://www.atherothrombose.org>

VOCABULAIRE

Athérome : obstruction progressive des artères par des dépôts de plaques de lipides sur ses parois.

Certificat annuel de non contre-indication à la pratique de basketball en compétition

Je soussigné, Docteur.
certifie avoir examiné
M./Mme/Mlle :
et n'avoir pas constaté à la date de ce jour des signes
apparents contre-indiquant la pratique de basketball en
compétition.

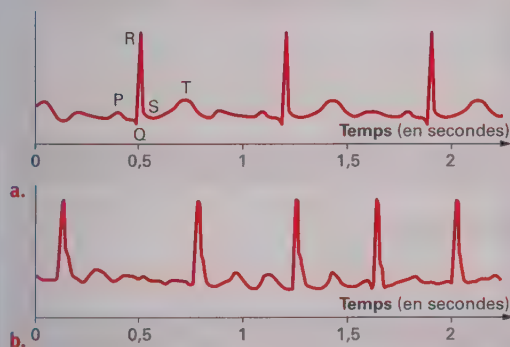
Taille :

À : Le :

Cachet

Signature du médecin

Non joueur ☐

4 Exemple de certificat de non contre-indication à la pratique sportive.

6 L'électrocardiogramme (ECG), un examen indispensable à une pratique sportive de haut niveau.
Un électrocardiogramme est un enregistrement de l'activité électrique du cœur. L'onde électrique P correspond à la contraction des oreillettes, l'onde « QRS » (pic) correspond à celle des ventricules. L'onde T correspond au relâchement des ventricules.
a. Électrocardiogramme normal.
b. Électrocardiogramme anormal.

5 Extrait des 10 règles d'or, recommandations édictées par le Club des cardiologues du sport.

1. Je signale à mon médecin toute douleur dans la poitrine ou essoufflement anormal survenant à l'effort⁽¹⁾.
2. Je signale à mon médecin toute palpitation cardiaque survenant à l'effort ou juste après l'effort⁽¹⁾.
3. Je signale à mon médecin tout malaise survenant à l'effort ou juste après l'effort⁽¹⁾.
[...]
10. Je pratique un bilan médical avant de reprendre une activité sportive intense si j'ai plus de 35 ans pour les hommes et 45 ans pour les femmes.

(1) Quels que soient mon âge, mes niveaux d'entraînement et de performance, ou les résultats d'un précédent bilan cardiologique.

**Alerter les secours**

Le 15 : le SAMU (service d'aide médicale urgente).

Le 18 : les sapeurs pompiers.

Le 112 : numéro d'appel européen (réservé aux habitants de l'UE quand ils ne se trouvent pas dans leur pays).

7 Les conduites à tenir en cas d'accident cardiaque.

- a. Massage cardiaque. Cela nécessite une formation.
- b. Utiliser si besoin un défibrillateur semi-automatique.
- c. Alerter les secours.

SITES À CONSULTER

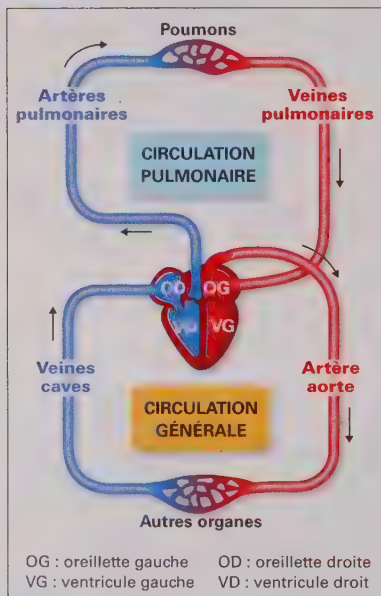
- <http://www.clubcardiosport.com/presentation/regle-dor.htm>
- <http://www.protectioncivile.org/index.htm>
- <http://www.croix-rouge.fr/je-me-forme/Particuliers>

EXPLOITATION

1. Expliquer pourquoi la pratique sportive nécessite une surveillance médicale (doc. 1 et 2).
2. Rappeler les deux causes d'accidents cardio-vasculaires associées à une pratique sportive en fonction de l'âge (doc. 2 et 3).
3. Expliquer quelles sont les conséquences du développement d'une plaque d'athérome (doc. 3).
4. Repérer un cycle et sa durée sur l'électrocardiogramme normal, puis comparer les deux électrocardiogrammes (doc. 6).
5. Quelle est la conséquence sur la fréquence cardiaque des anomalies repérées sur l'électrocardiogramme du document 6 ? En quoi cela peut-il être dangereux lors d'un effort ?
6. Résumer les gestes à faire si l'on est témoin d'un accident cardiaque (doc. 7).

1

Organisation du cœur et circulation du sang



1 Circulation du sang et organisation du cœur.

● Le cœur est un **muscle creux** formé de **deux parties** séparées par une cloison, ce qui interdit le mélange de leurs sangs. On parle donc de **cœur droit** et de **cœur gauche**.

Chaque cœur est formé d'une **oreillette** et d'un **ventricule**. Aux oreillettes aboutissent les **veines** qui ramènent le sang au cœur. Des ventricules partent des **artères** qui conduisent le sang aux organes (**activité 1**).

● À l'intérieur de chaque cœur, les **valvules** imposent une circulation du sang à **sens unique** : de l'oreillette vers le ventricule, du ventricule vers l'artère. De cette organisation du cœur découle l'existence d'une double circulation :

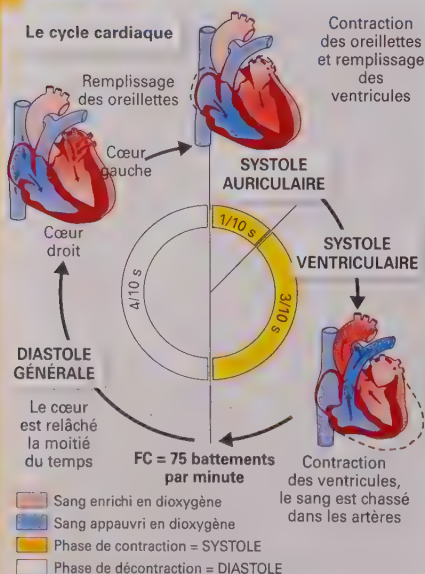
– la **circulation pulmonaire** dont la pompe est le cœur droit. Le tronc pulmonaire à l'origine des deux artères pulmonaires part du ventricule droit et transporte le sang pauvre en dioxygène vers les poumons. Les veines pulmonaires déversent dans l'oreillette gauche le sang chargé en dioxygène qui vient des poumons ;

– la **circulation générale** dont la pompe est le cœur gauche. L'artère aorte part du ventricule gauche et distribue le sang oxygéné à l'ensemble des organes. Les veines caves ramènent dans l'oreillette droite le sang appauvri en dioxygène qui vient de l'ensemble des organes du corps.

(**activité 1**). ⇒ (Questions de sciences p. 257)

2

Cycle cardiaque et débit cardiaque



2 Le cycle cardiaque.

● La circulation du sang est assurée par la contraction rythmique et synchrone des parois musculaires des cœurs droit et gauche. L'activité du cœur est ainsi caractérisée par la succession de **cycles cardiaques**. Un **cycle cardiaque** comporte : contraction des oreillettes (**systole auriculaire**), contraction des ventricules (**systole ventriculaire**) et décontraction de l'ensemble du cœur (**diastole générale**).

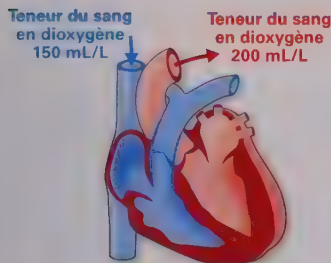
● **Remplissage et vidange des ventricules** sont les conséquences essentielles du cycle cardiaque, car elles conditionnent la circulation du sang dans la circulation générale et la circulation pulmonaire. Durant la **diastole générale**, le sang remplit les oreillettes puis les ventricules. La **systole des oreillettes** termine le remplissage des ventricules, le volume de sang contenu dans les cavités ventriculaires est alors maximal. La **systole ventriculaire** qui suit la systole des oreillettes provoque l'éjection du sang dans les artères (**doc. 2**).

● On appelle **fréquence cardiaque (FC)** le **nombre de cycles cardiaques par minute**. Pour une fréquence de 75 battements par minute environ au repos, le cycle cardiaque dure 0,8 s (**doc. 2**). Le **débit cardiaque (DC)** est égal au produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique, soit au repos :

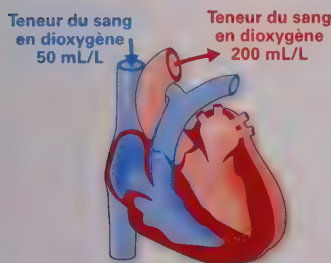
$$DC = 70 \text{ battements/min} \times 70 \text{ mL/battement} = 4\,900 \text{ mL/min} \approx 5 \text{ L/min}$$

$$DC \text{ (mL/min)} = FC \text{ (battement par minute)} \times VES \text{ (mL/battement)}$$

Activités circulatoire et ventilatoire au cours d'un effort



Débit cardiaque (repos) : 5 L/min



Débit cardiaque (effort maximal) : 25 L/min

3 Teneur du sang en dioxygène (en mL/L) et débit cardiaque, au repos et à l'effort maximal.

Par rapport au repos, à l'effort maximal, le débit cardiaque est, en moyenne, multiplié par 5 et la différence artério-veineuse par 3, en conséquence le volume maximal de dioxygène prélevé en une minute et rapporté au poids (VO_{2max}) est égal environ à 15 fois le volume prélevé au repos.

- Au cours d'un effort, l'activité cardiaque change. La fréquence cardiaque **augmente** linéairement avec l'intensité de l'effort et atteint une valeur maximale voisine chez un adulte de 180 battements par minute. Elle est atteinte lorsqu'un individu effectue un exercice aux limites de ses possibilités et correspond donc à sa VO_{2max} .

- Le volume d'éjection systolique (VES) augmente proportionnellement avec l'intensité de l'exercice et cela jusqu'à une intensité correspondant environ à 50 % de la VO_{2max} . Pour des exercices plus intenses, le VES garde cette même valeur.

- Le **débit cardiaque** augmente donc aussi avec l'effort. Jusqu'à des exercices d'intensité moyenne, cette augmentation du débit cardiaque est due à la fois à celles de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique ; au-delà, elle ne dépend que de celle de la fréquence cardiaque. Le débit cardiaque passe ainsi de 5 L/min à une valeur maximale pouvant atteindre 30 à 35 L/min.

- La **circulation générale** et la **circulation pulmonaire** sont disposées en série dans le circuit sanguin global. Cela entraîne que les débits cardiaques des deux cœurs sont **identiques**. Ainsi, au repos comme au cours de l'effort, le sang qui quitte les poumons est toujours **saturé en dioxygène (activité 3)**.

- L'**irrigation des organes** de la circulation générale repose sur des **circuits en parallèle**. Le sang qui irrigue chaque organe est un sang saturé en dioxygène, car non appauvri par la traversée d'un organe précédent. De plus, la part du débit sanguin distribuée à chaque organe peut varier en fonction de son activité (activité 3).

- Lors d'un effort, l'activité ventilatoire augmente. L'air alvéolaire, davantage renouvelé, voit sa teneur en dioxygène **demeurer constante** malgré le prélèvement accru par le sang (doc. 3).

- Ainsi l'apport accru de dioxygène aux muscles dépend de trois types de changements : **augmentation du débit cardiaque, du débit ventilatoire et redistribution du sang** entre les organes de la circulation générale.

- L'expression de **couplage cardio-ventilatoire** désigne ces changements coordonnés (activité 4).

Activité physique et santé

- La **pratique régulière** d'une activité physique contribue à maintenir en **bonne santé**. En augmentant la dépense énergétique de l'organisme, elle permet d'éviter l'obésité ; mais aussi elle améliore les performances du cœur (augmentation du débit cardiaque maximal). Néanmoins parce qu'elle sollicite davantage le cœur, la pratique d'une activité physique nécessite qu'on se soit assuré au préalable de l'absence d'anomalies dans le fonctionnement cardiaque (activité 5).

⇒ (Questions de sciences p. 254)

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Exercice physique et apports en dioxygène et en nutriments

L'activité cardiaque est marquée par la succession de **cycles**, constitués des trois événements successifs : **diastole générale**, **systole des oreillettes**, qui permettent le remplissage des ventricules, puis **systole ventriculaire** qui correspond à la vidange des ventricules permettant l'éjection du sang dans les artères.

Le **volume d'éjection systolique (VES)** est le volume de sang éjecté par la contraction de chaque ventricule au cours d'un battement ; la **fréquence cardiaque (FC)** est le nombre de cycles cardiaques en une minute. Le **débit cardiaque (DC)** est le volume de sang éjecté par chaque ventricule en une minute ($DC = FC \times VES$).

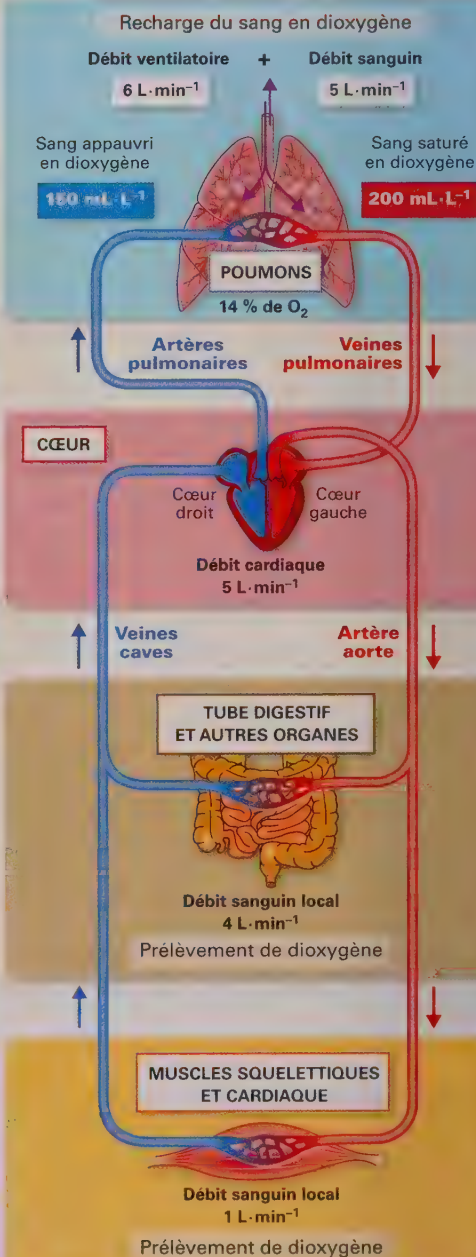
Dans les deux circulations, générale et pulmonaire, disposées **en série** les débits des cœurs gauche et droit sont **identiques**.

Le sang, qui parcourt la circulation générale, délivre du dioxygène aux organes. Il passe ensuite dans la circulation pulmonaire où il se charge en dioxygène.

Au cours d'un **effort**, le débit cardiaque est 4 à 7 fois supérieur à sa valeur au repos, grâce à l'augmentation de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique. Le débit ventilatoire est également accru. Ainsi, le sang qui quitte les poumons à l'effort, comme au repos, est **saturé en dioxygène**.

Les organes de la **circulation générale** sont disposés **en parallèle**. Le débit cardiaque peut ainsi être redistribué en fonction des besoins. Lors d'un effort, les muscles squelettiques et cardiaque reçoivent un débit sanguin supérieur, aux dépens d'autres organes.

■ Couplage des systèmes ventilatoire et cardio-vasculaire : situation au repos



CAPACITÉS ET ATTITUDES

- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Être conscient de sa responsabilité face à la santé.
- Expérimenter d'après un protocole.
- Avoir une bonne maîtrise de son corps.
- Pratiquer une démarche scientifique : modéliser.

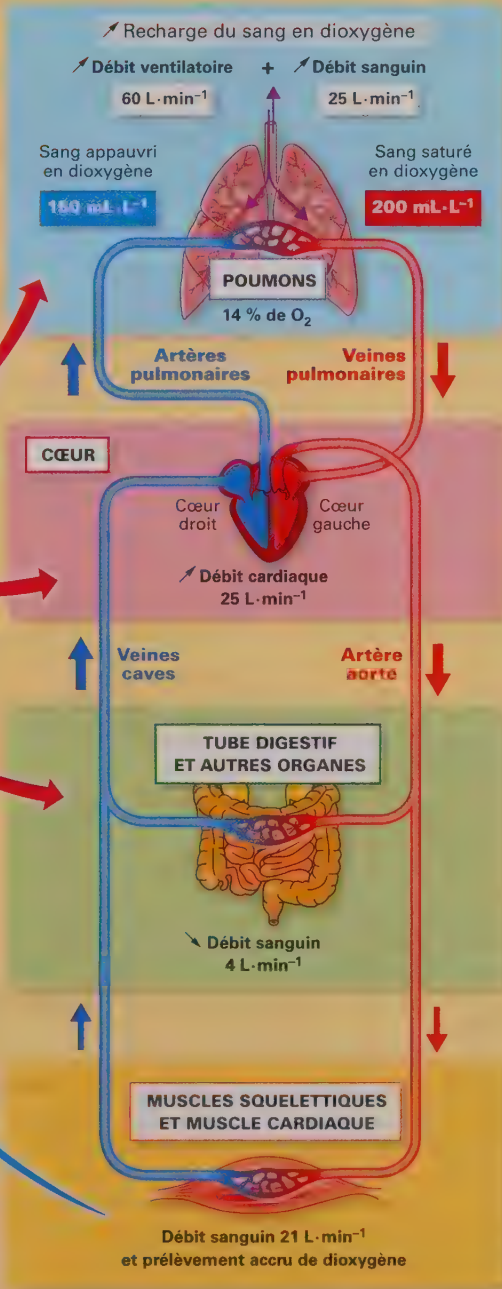
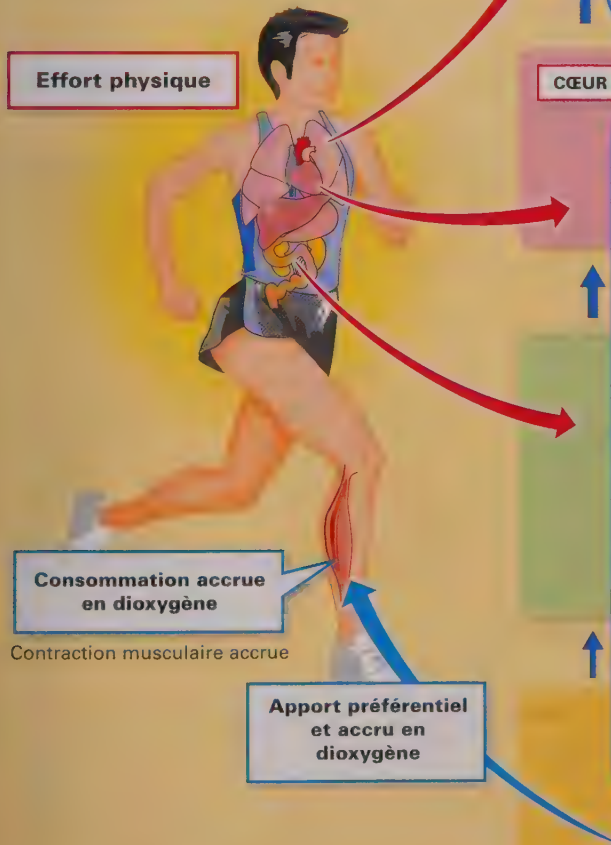
■ Couplage des systèmes ventilatoire et cardio-vasculaire : situation à l'effort



Fréquence cardiaque ↗
Volume d'éjection systolique ↗
Redistribution du débit sanguin en faveur des muscles.

Prélèvement accru du dioxygène par les muscles

Débit cardiaque ↗ } Prélèvement accru du dioxygène au niveau des poumons par le sang
Débit ventilatoire ↗ } Sang des veines pulmonaires saturé en dioxygène



↗ Signifie « augmente »

Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Au cours d'un exercice physique, le débit cardiaque du cœur gauche augmente :
1. deux fois plus que celui du cœur droit.
 2. autant que celui du cœur droit.
 3. grâce à une augmentation du volume d'éjection systolique et de la fréquence cardiaque.
- b.** Les artères :
1. transportent toujours du sang riche en dioxygène.
 2. transportent du sang du cœur vers les autres organes.
 3. communiquent avec le cœur au niveau d'un ventricule.
- c.** Dans le cœur :
1. le sang circule toujours des oreillettes vers les ventricules.
 2. les ventricules se vident complètement pendant la systole ventriculaire.
 3. les ventricules se remplissent pendant la systole auriculaire.
- d.** Par rapport à la situation de repos, l'irrigation des muscles actifs à l'effort est caractérisée par :
1. une plus grande richesse en dioxygène du sang qui y arrive.
 2. un débit multiplié par deux au maximum.
 3. une plus faible teneur en dioxygène du sang qui les quitte (sang veineux).

2 Vrai ou faux ?

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

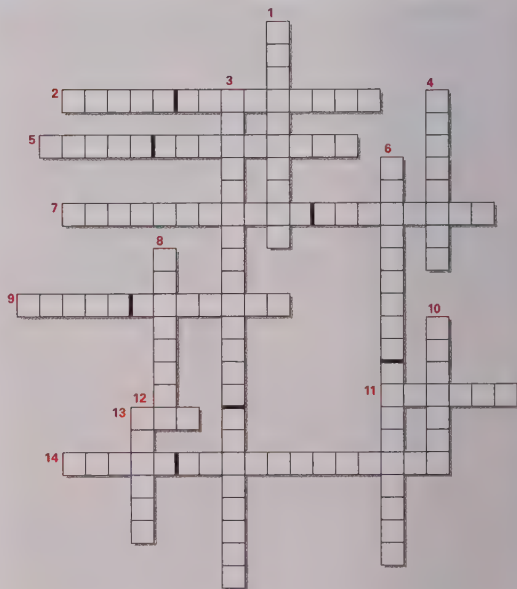
- a.** Au cours d'un exercice physique, le débit sanguin augmente dans tous les organes de la circulation générale.
- b.** Les organes de la circulation générale sont disposés en parallèle.
- c.** La fréquence cardiaque augmente tant que l'intensité de l'exercice augmente.
- d.** Il existe un débit cardiaque maximal.
- e.** Le sang qui arrive aux poumons est beaucoup plus pauvre en dioxygène lors d'une activité physique qu'au repos.
- f.** Le sang qui sort des poumons est beaucoup plus riche en dioxygène lors d'une activité physique qu'au repos.
- g.** L'augmentation des débits cardiaque et ventilatoire fait que la quantité de dioxygène prélevée, en un temps donné, au niveau des poumons augmente.
- h.** La concentration en dioxygène est la même dans le sang qui circule dans les veines pulmonaires et dans l'artère aorte.
- i.** Le débit sanguin pulmonaire est égal au débit cardiaque.
- j.** Le débit sanguin dans les muscles en activité est supérieur au débit cardiaque.

3 Mots croisés



EXERCICE CORRIGÉ

Remplir la grille en notant les mots issus des définitions.



Définitions

1. Disposition de la circulation à l'origine de la distribution de sang saturé en dioxygène à l'ensemble des organes.
2. Volume de sang éjecté par chaque ventricule par unité de temps.
3. Elle se produit lors d'un exercice physique en faveur des muscles.
4. Désigne le fonctionnement associé des systèmes ventilatoire et cardio-vasculaire.
5. Il répète inlassablement une phase d'éjection du sang et une phase de remplissage.
6. Lorsqu'elle atteint son maximum, le débit cardiaque ne peut plus augmenter.
7. Circuit qui démarre avec l'artère aorte et se termine au niveau des veines caves.
8. Décontraction du muscle cardiaque.
9. Paramètre circulaire qui varie grandement pour un même organe entre le repos et l'effort.
10. Contraction du muscle cardiaque.
11. Vaisseau qui conduit le sang hors des ventricules.
12. Vaisseaux qui conduisent le sang aux oreillettes.
13. Volume de sang mis en mouvement lors de chaque systole ventriculaire (abréviation).
14. Son augmentation maintient une teneur de l'air alvéolaire en dioxygène suffisante pour saturer le sang.

4 Associations entre deux séries de données

Associer chaque élément de la liste A à un ou plusieurs éléments de la liste B.

La liste A indique divers moments du cycle cardiaque ; la liste B indique divers événements ayant lieu durant ce cycle.

Liste A : a. Systole ventriculaire ; b. Diastole des oreillettes ; c. Systole des oreillettes ; d. Diastole des ventricules.

Liste B : a. Remplissage des ventricules ; b. Passage du sang des ventricules dans les artères ; c. Volume ventriculaire minimal ; d. Fin du remplissage des ventricules ; e. Augmentation du volume du sang dans les oreillettes ; f. Ouverture des valvules artérielles.

5 Construction d'une phrase

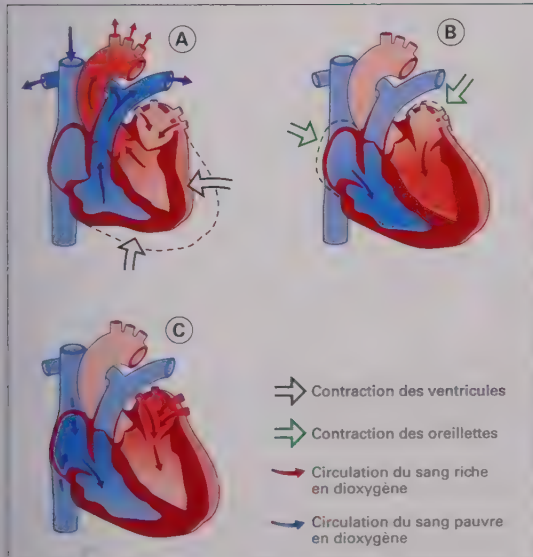
Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a. Valvules, oreillettes, ventricules, artères.
- b. Cœur gauche, cœur droit, sang riche en dioxygène, sang pauvre en dioxygène.
- c. Débit cardiaque droit, débit cardiaque gauche, débit sanguin pulmonaire.

Analyser des documents

7 Les phases du cycle cardiaque

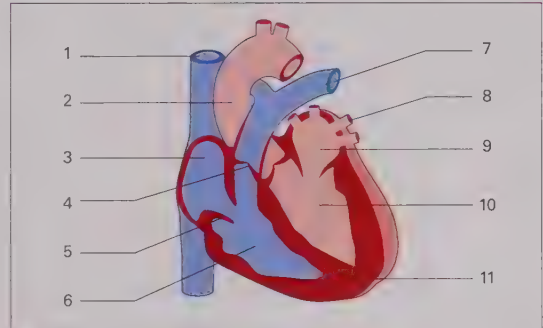
Pratiquer un raisonnement scientifique



■ Classer les figures A, B et C en fonction des événements du cycle cardiaque. Préciser les critères qui permettent ce classement.

6 Légender un schéma du cœur

Associer chaque numéro à la légende correspondante.



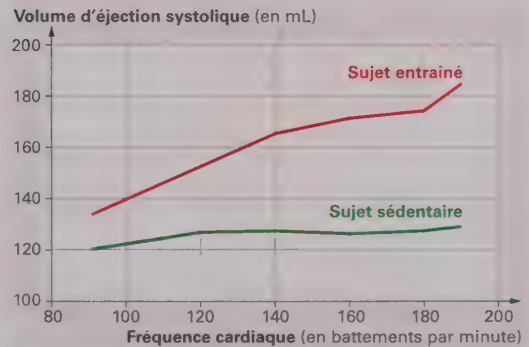
■ Coupe simplifiée du cœur.

- a. Oreillette droite b. Oreillette gauche c. Ventricule droit
- d. Ventricule gauche e. Veine cave f. Veine pulmonaire
- g. Artère aorte h. Artère pulmonaire i. Valvule artérielle
- j. Valvule auriculo-ventriculaire k. Muscle cardiaque

8 Paramètres cardiaques et entraînement

EXERCICE CORRIGÉ

Pratiquer un raisonnement scientifique



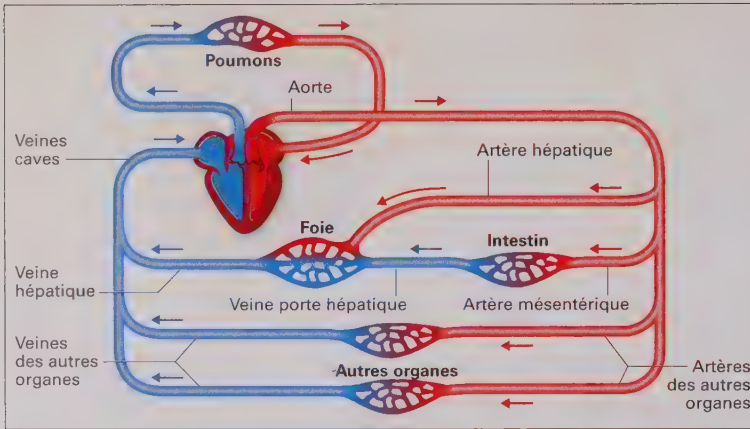
■ Fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique au cours d'activités d'intensité croissante.

- a. D'après les informations extraites de ce graphe, existe-t-il une différence dans la fréquence cardiaque maximale des deux individus ?
- b. Quelles sont les principales différences dans l'évolution du volume d'éjection systolique des deux individus en fonction de l'intensité de l'effort ?
- c. Calculer le débit cardiaque maximal de chaque individu. Quelle est la conséquence de la différence constatée ?

EXERCICES

9 Circuits en série et en parallèle Pratiquer un raisonnement scientifique

Le foie est l'organe qui met en réserve le glucose après un repas, et qui le redistribue au sang lorsque l'organisme est à jeun.

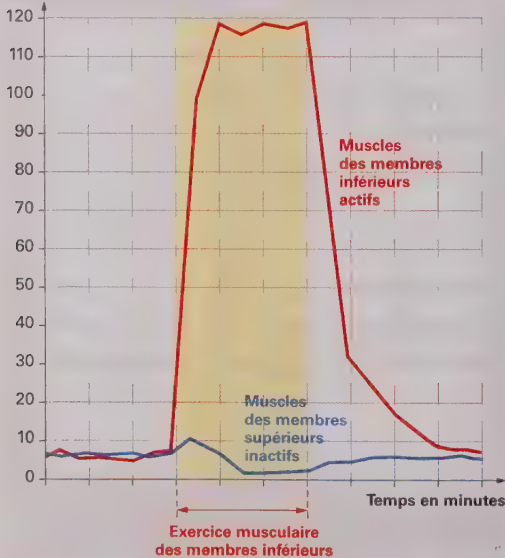


La double circulation sanguine.

- D'après le document, identifier les organes des deux circulations en série et ceux de la circulation en parallèle.
- Indiquer l'avantage conféré par la disposition en série dans chaque cas identifié précédemment.
- Quels peuvent être les rôles respectifs de l'artère hépatique et de la veine porte hépatique ?

10 Distribution du sang au cours d'un effort Communiquer des idées et des données scientifiques

Débit sanguin (en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) dans les muscles (100 g)

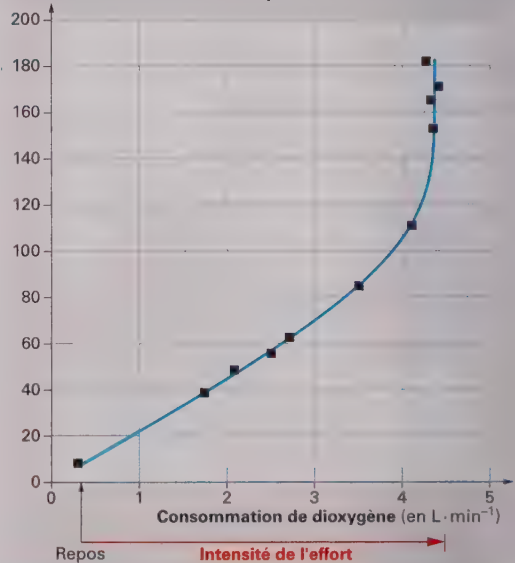


Débit sanguin dans les muscles des membres supérieurs et des membres inférieurs au cours d'un exercice intense.

- À partir des informations extraites du graphe, discuter l'affirmation : « Le débit sanguin augmente dans l'ensemble de la musculature du corps, quel que soit le type d'activité. »
- Quel(s) mécanisme(s) permet(tent) l'augmentation du débit sanguin dans les muscles actifs au cours de l'exercice ?

11 Débit ventilatoire et intensité de l'effort Pratiquer un raisonnement scientifique

Débit ventilatoire en litres d'air par minute (en $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)



Débit ventilatoire et consommation de dioxygène au cours d'un exercice sur tapis roulant à différentes vitesses.

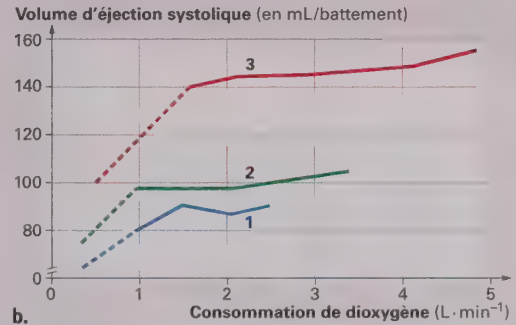
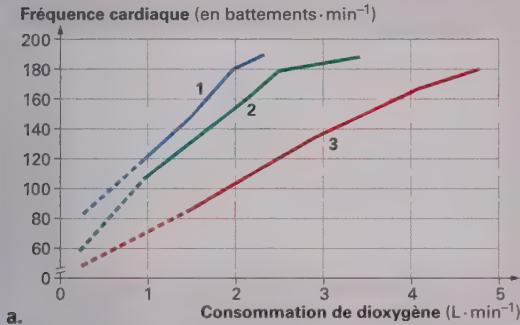
- Dégager de ce graphe l'information qui montre qu'une augmentation de la ventilation pulmonaire ne s'accompagne pas obligatoirement d'une augmentation du prélèvement de dioxygène au niveau des poumons.
- Proposer une explication.

12 Effets de l'entraînement sur les paramètres cardiaques

Communiquer des idées et des données scientifiques



On a mesuré la consommation de dioxygène et suivi les variations de la fréquence cardiaque ainsi que celles du volume d'éjection systolique chez trois groupes d'individus au cours d'exercices d'intensité croissante.



1 Comparaison de paramètres cardiaques pour différents niveaux d'entraînement (sportifs de haut niveau, sportif, sédentaire).

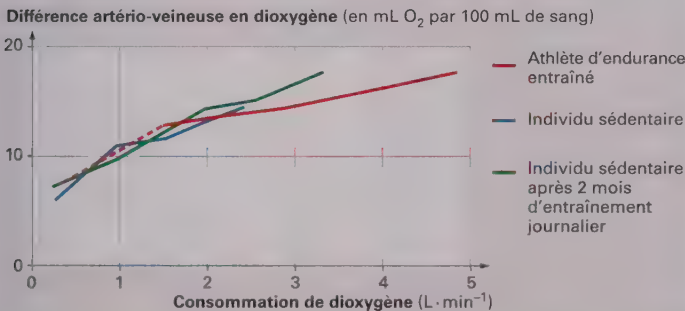
a. Indiquer l'information qui permet de connaître quel est de ces trois groupes d'individus celui qui est capable de fournir les efforts les plus intenses.

b. Comparer les fréquences cardiaques des athlètes et des personnes sédentaires, au repos et au cours d'efforts d'intensité croissante. Quel est l'effet de l'entraînement sur la fréquence cardiaque (doc. 1a) ?

c. Comparer de même les volumes d'éjection systolique des athlètes et des personnes sédentaires au repos et au cours

d'efforts d'intensité croissante. Quel est l'effet de l'entraînement sur le volume d'éjection systolique (doc. 1b) ?

d. Calculer le débit cardiaque de ces trois groupes d'individus pour une consommation de dioxygène de 2 litres par minute ; calculer le débit cardiaque maximal de ces trois groupes et établir une relation avec les différences de leur $VO_2 \text{ max}$.



e. Discuter, à partir des informations extraites du document 2, l'affirmation suivante : « L'action de l'entraînement sur la capacité de l'organisme à prélever du dioxygène est due seulement à son effet sur le débit cardiaque. »

Restituer ses connaissances de façon organisée

13 Débit cardiaque et effort

Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Définir le débit cardiaque et montrer l'intérêt de ses variations au cours de l'effort.

14 Organisation de la circulation générale et effort

Communiquer des idées et des données scientifiques

■ Exposer les avantages d'une disposition en parallèle des organes de la circulation générale.

➤ La circulation sanguine assure l'apport de diverses substances (dioxygène, nutriments) aux organes. La pression artérielle est un paramètre essentiel de cette fonction. Elle dépend, en particulier, du débit cardiaque. Une régulation nerveuse par le biais du contrôle de la fréquence cardiaque maintient sa valeur dans d'étroites limites.



1

Pression artérielle et fréquence cardiaque.

Le sang, représenté ici par ses globules rouges en suspension dans le plasma, est un tissu liquide. Il exerce une pression sur la paroi des artères, la pression ou tension artérielle. Celle-ci dépend de l'activité cardiaque.

Quelle est la valeur de la pression artérielle dans un organisme en bonne santé ?

pression artérielle



2

Les émotions peuvent modifier l'activité cardiaque.

Le cœur est un organe qui engendre lui-même ses battements, c'est un organe doué d'automatisme. Néanmoins, les émotions, le stress, les efforts physiques provoquent des changements de son activité. Celle-ci peut donc être modulée par divers mécanismes au sein de l'organisme.

Quels sont les mécanismes nerveux qui contrôlent la fréquence cardiaque ?



3

Lutter contre l'hypertension.

Une pression sanguine trop élevée peut altérer la paroi vasculaire et provoquer sa rupture, cause d'une hémorragie interne. Les accidents vasculaires cérébraux (ou AVC) en sont un exemple et peuvent avoir de graves conséquences selon la région cérébrale affectée et le temps écoulé avant la prise en charge du patient.

Comment le contrôle de la fréquence cardiaque participe-t-il à la régulation de la pression artérielle ?

Dessin extrait de la brochure *Je protège mon cerveau en soignant mon hypertension*, Comité français de lutte contre l'hypertension artérielle.

Mesure et valeurs de la pression artérielle

Nous savons que les artères sont les vaisseaux qui conduisent le sang du cœur vers les organes.

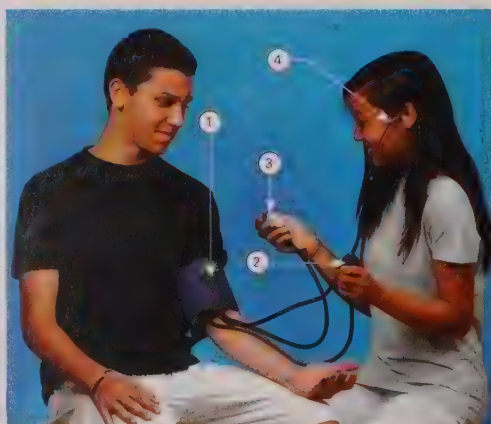


Quelle est la valeur de la pression artérielle ? De quels paramètres dépend-elle ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre la signification de la pression artérielle et la mettre en relation avec l'activité cardiaque.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : expérimenter et raisonner.

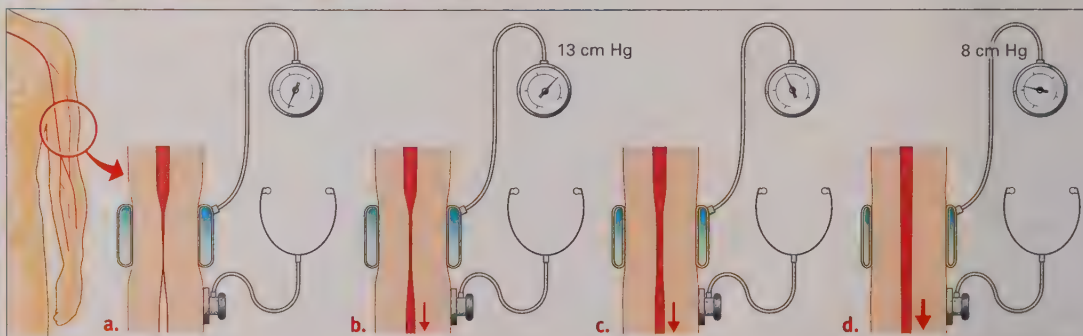
A La mesure de la pression artérielle



1 Dispositif de mesure de la pression artérielle.

La mesure de la pression ou encore « tension » artérielle est un examen médical de routine.

Le sang exerce une pression sur la paroi des artères (force par unité de surface), qu'on appelle la pression artérielle. Un brassard (1) est posé autour du bras. Ce brassard peut être gonflé à l'aide d'une poire (2). Le manomètre (3) auquel il est relié indique la pression de l'air en son sein. Une vis de décompression permet de chasser l'air du brassard et donc de diminuer la pression. Un stéthoscope (4) est placé à la base du bras, sous le brassard, là où l'artère brachiale est la plus superficielle. Il permet d'écouter les bruits causés par la circulation du sang perturbée par la compression dans l'artère brachiale en aval du brassard.



2 Le principe de la mesure de la pression artérielle.

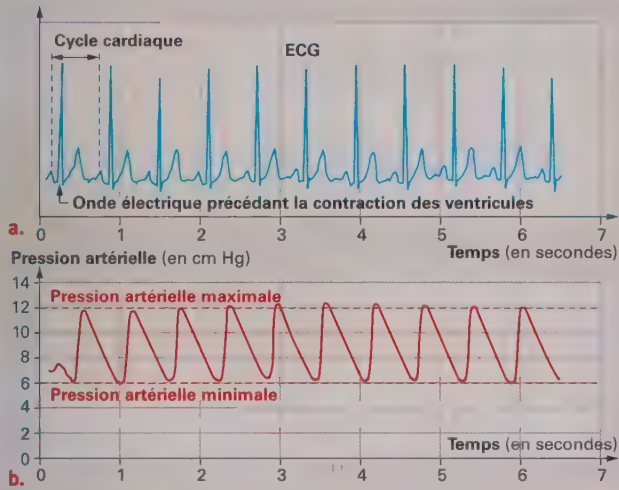
a. Le brassard comprime l'artère du bras, le sang ne passe plus : aucun bruit n'est perçu, la pression dans le brassard est supérieure à la pression artérielle.

b. Le brassard est dégonflé lentement, le sang commence à passer dans l'artère, un bruit intermittent est perçu et la valeur de la pression artérielle est lue au même moment sur le cadran. La pression artérielle lue à cet instant est la pression artérielle maximale.

c. On continue de dégonfler le brassard. Le sang passe de mieux en mieux mais un bruit est toujours perceptible à l'aide du stéthoscope.

d. Plus on dégonfle le brassard, moins le bruit est audible, jusqu'au moment où il disparaît. La pression mesurée à cet instant est la pression artérielle minimale.

Enregistrement de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque

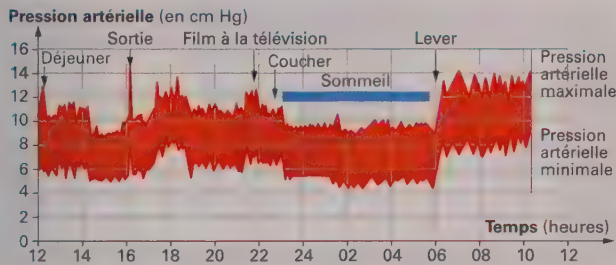


3 Électrocardiogramme et mesure en continu de la pression artérielle chez un homme de 33 ans.

À l'aide d'un dispositif plus complexe que le précédent, on mesure en continu la pression artérielle d'un homme de 33 ans. On enregistre son électrocardiogramme pendant la même période.

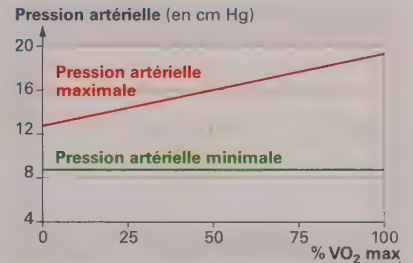
- a. Électrocardiogramme.
- b. Mesures de la pression artérielle.

Variabilité de la pression artérielle



4 Mesure de la pression artérielle en continu sur 24 heures d'une personne en bonne santé.

À l'aide d'un matériel approprié, il est possible d'enregistrer la pression artérielle d'une personne sur une longue durée sans que cela entrave ses occupations habituelles.



5 Évolution des pressions artérielles maximale et minimale en fonction de l'intensité de l'effort physique.

Le graphe traduit les variations de la pression artérielle en fonction de l'intensité de l'effort exprimée ici en pourcentage de la VO₂ max.

EXPLOITATION

1. **Rappeler** ce que représentent les valeurs lues lorsque les bruits apparaissent, lorsqu'ils disparaissent. Lorsque le médecin dit « treize-huit », s'agit-il d'un seul ou de deux nombres (doc. 1 et 2) ?

2. **Justifier l'expression** : « La pression artérielle est une variable entre deux extrêmes » (doc. 2).

3. **Extraire des graphes** du document 3 des arguments en faveur de l'idée que les variations de la pression artérielle sont liées à l'activité du cœur.

4. Les deux valeurs extrêmes de la pression artérielle sont également appelées « pression artérielle systolique » et « pression artérielle diastolique ». D'après vous, lequel de ces termes correspond à la valeur maximale de la pression artérielle mesurée ? **Justifier**.

5. **Décrire** les variations de la pression artérielle sur une journée (doc. 4) et au cours d'un effort physique (doc. 5).

6. En quoi ces variations confortent-elles l'idée que les valeurs de la pression artérielle dépendent de l'activité cardiaque ?

Contrôle nerveux de la fréquence cardiaque

Nous savons que l'activité cardiaque est un paramètre conditionnant directement la pression artérielle.



Quelle est l'origine de l'activité cardiaque et comment la fréquence cardiaque est-elle contrôlée ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : connaître le processus du contrôle nerveux de la fréquence cardiaque.
- **Capacités** : recenser, extraire et exploiter des documents historiques.

A Origine de l'activité cardiaque

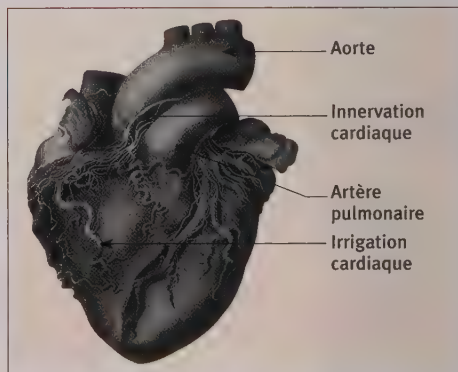
1 Deux hypothèses sur l'origine de l'activité cardiaque.

a. La controverse sur l'origine de l'activité cardiaque au début du XIX^e siècle.

Au début du XIX^e siècle, deux théories sur l'origine des mouvements du cœur s'affrontent :

- Pour Galien (médecin grec de l'Antiquité), la source des mouvements cardiaques se trouve dans le cœur lui-même ; il y a une indépendance absolue du cœur par rapport au système nerveux.
- Pour Legallois (début du XIX^e siècle), le cerveau et la moelle épinière, par l'intermédiaire des nerfs qui vont au cœur, sont la source des forces qui entretiennent les battements du muscle cardiaque, de même qu'ils commandent la contraction des muscles squelettiques.

Durant les XVIII^e et XIX^e siècles, les études anatomiques montrent les nerfs en relation avec le cœur. Ce sont, d'une part, les deux nerfs parasympathiques (ou nerfs vagues) qui relient le bulbe rachidien au cœur et, d'autre part, les nerfs sympathiques issus de la moelle épinière cervicale et dorsale.



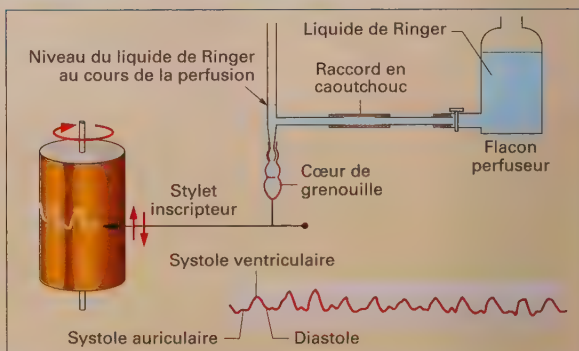
b. Dessin de l'innervation du cœur réalisé à la fin du XVIII^e siècle par Antonio Scarpa. Paris, Bibliothèque de l'Institut.

B Données expérimentales sur l'origine de l'activité cardiaque

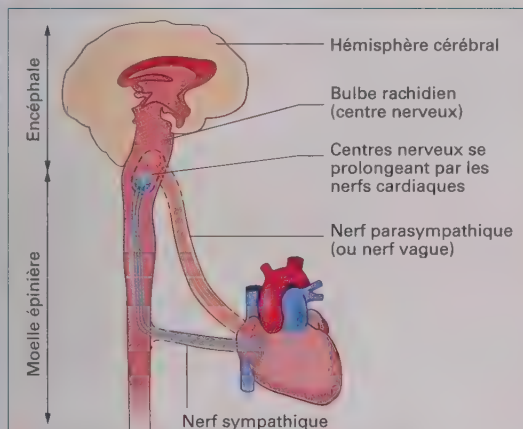
2 Fonctionnement du cœur isolé de l'organisme.

En 1865, les frères Cyon firent des observations « sur des cœurs de grenouilles séparés du corps mais maintenus par une circulation artificielle dans des conditions se rapprochant le plus possible de celles où le travail cardiaque s'opère normalement » (Élie de Cyon, *Les nerfs du cœur*). En utilisant un dispositif permettant d'enregistrer les mouvements du cœur, ils montrèrent que le cœur de grenouille, isolé dans ces conditions, continuait à battre pendant plusieurs heures.

Par la suite, d'autres physiologistes appliquèrent cette méthode à l'étude du cœur des Mammifères séparé de l'organisme et obtinrent des résultats similaires.



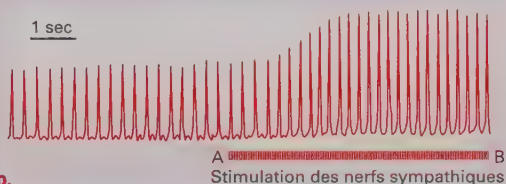
Expériences relatives à l'action des nerfs sur le cœur au repos



4 Expériences de stimulation des nerfs cardiaques réalisées au cours du XIX^e siècle.

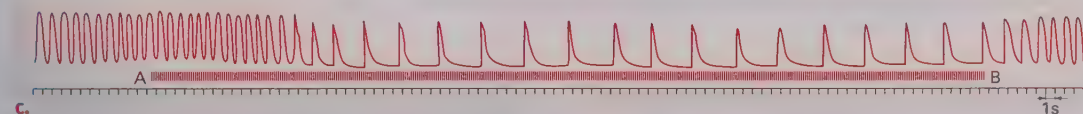
a. Protocole expérimental.

À l'aide d'un dispositif expérimental décrit dans le document 2, mais sans isoler le cœur du reste du corps, on peut suivre les contractions des ventricules de différents animaux anesthésiés en fonction de la stimulation ou non des nerfs cardiaques. Les enregistrements suivants correspondent à des mécanocardiogrammes (enregistrement de l'activité mécanique cardiaque) obtenus chez des animaux au cours du XIX^e siècle.



b. Stimulation des nerfs sympathiques

3 Système nerveux et activité cardiaque.



b. Enregistrement des contractions cardiaques suite à la stimulation des nerfs sympathiques chez un chien, expérimentation réalisée pour la première fois par les frères Cyon en 1866.

c. Enregistrement des contractions cardiaques suite à la stimulation du nerf vague (parasympathique) chez une grenouille, expérimentation réalisée pour la première fois par les frères Weber en 1845.

5 Expériences de section puis de stimulation des nerfs cardiaques réalisées au cours du XIX^e siècle.

Le tableau montre les conséquences de l'excitation du bout central et du bout périphérique des nerfs cardiaques sectionnés sur la fréquence cardiaque (FC), exprimée en battements par minute. Un nerf effectue une liaison entre un centre nerveux et un organe. Les organes innervés peuvent soit envoyer des informations au centre nerveux (informations afférentes), soit en recevoir (informations efférentes). Lorsqu'on coupe un nerf, le bout situé du côté du centre nerveux est qualifié de « bout central », le bout situé du côté de l'organe est qualifié de « bout périphérique ».

	Fréquence cardiaque (battements/min)
Section des nerfs vagues et des nerfs sympathiques	FC passe de 80 à 100
Section des nerfs vagues et des nerfs sympathiques puis stimulation du bout central soit d'un nerf vague, soit d'un nerf sympathique	FC reste à 100
Section des deux nerfs puis stimulation du bout périphérique d'un nerf vague	FC = 45
Section des deux nerfs puis stimulation du bout périphérique d'un nerf sympathique	FC = 180

EXPLOITATION

1. **Montrer** que les données acquises au cours du XIX^e siècle infirment l'explication de Legallois (**doc. 1 et 2**).
2. **Indiquer** pourquoi on a néanmoins pensé que le cœur pouvait être contrôlé en partie nerveusement et **donner** les deux méthodes qui ont permis de tester le rôle des nerfs innervant le cœur (**doc. 3 à 5**).
3. Les nerfs vagues et les nerfs sympathiques sont-ils des nerfs afférents ou efférents (**doc. 5**) ?

4. **Montrer** que les nerfs cardiaques exercent une action permanente sur la fréquence cardiaque. Expliquer l'expression « *frein vagal* », couramment utilisé pour décrire l'action des nerfs parasympathiques cardiaques (**doc. 5**).
5. **Retrouver** les étapes de la démarche scientifique ayant conduit à la connaissance des mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque (mots clés : *hypothèse, expérimentation, observation, réfutation, validation, remise en question*).

Pression artérielle et fréquence cardiaque

Nous savons que les nerfs sympathiques et parasympathiques contrôlent de façon opposée la fréquence cardiaque.



Par quels mécanismes les variations de la pression artérielle modifient-elles la fréquence cardiaque ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : connaître les éléments du réflexe par lequel des variations de la pression artérielle retentissent sur la fréquence cardiaque.
- **Capacités** : exploiter des documents historiques ; communiquer dans un langage scientifiquement approprié.



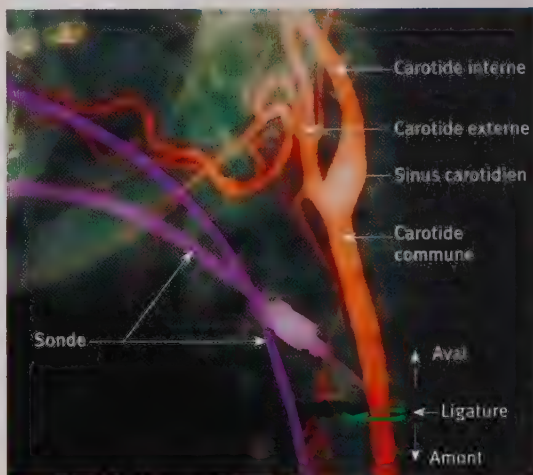
Influence de la pression artérielle sur la fréquence cardiaque

1 Variations de la pression artérielle au niveau des carotides communes et effets sur la fréquence cardiaque : observations du XIX^e siècle.

a. Effet de l'occlusion des carotides communes.

Au XIX^e siècle, les physiologistes observent que l'occlusion d'une des deux carotides communes par ligature entraînait une **augmentation de la fréquence cardiaque** (de 80 à 140 battements/min chez un chien de taille moyenne) ; inversement, l'arrêt de l'occlusion était suivi d'un retour de la fréquence cardiaque à sa valeur initiale.

La ligature de la carotide entraîne une augmentation de la pression du sang dans l'artère en amont de la ligature et une baisse de la pression en aval. Après section des nerfs vagues et des nerfs sympathiques, l'occlusion des carotides communes n'avait pas d'effet sur la fréquence cardiaque. François Franck propose en 1877 l'hypothèse suivante. La chute de pression artérielle dans la région céphalique, consécutive à l'occlusion des carotides communes, est perçue directement par les centres nerveux bulbaires qui modifient les messages adressés au cœur par l'intermédiaire des nerfs vagues et sympathiques.



b. Angiographie : radiographie des vaisseaux après injection d'une substance opaque aux rayons X.

VOCABULAIRE

Afférent : qui conduit de la périphérie vers le centre nerveux.

Efférent : qui conduit du centre nerveux vers la périphérie.

Effecteur : organe qui modifie son activité en réponse à une commande nerveuse ou hormonale.

Réflexe : acte automatique indépendant de la volonté faisant intervenir cinq éléments.

Stimulus : variation d'un paramètre interne ou externe qui déclenche une modification d'activité d'un ou de plusieurs organes.

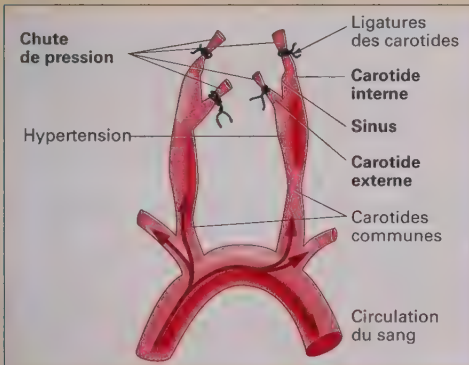
Réponse : modification de l'activité d'un organe consécutive à un stimulus.

2 Expériences de Hering (1924) et remise en cause de l'hypothèse de Franck.

a. Effets de l'occlusion des carotides interne et externe sur la fréquence cardiaque.

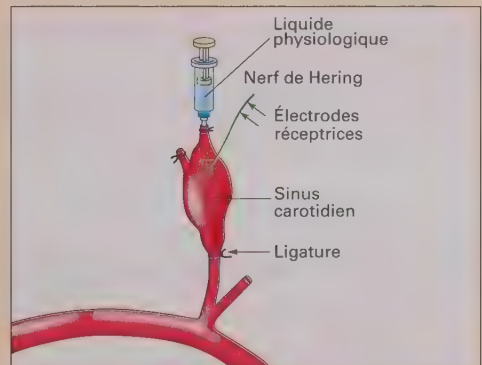
Occlusion des carotides externes et internes chez un chien : **diminution** de la fréquence cardiaque bien qu'il y ait une baisse de la pression artérielle dans la région céphalique.

Désocclusion des carotides externes et internes : **augmentation** de la fréquence cardiaque qui reprend sa valeur initiale.



b. Conséquence sur la fréquence cardiaque de l'augmentation de pression dans le sinus carotidien.

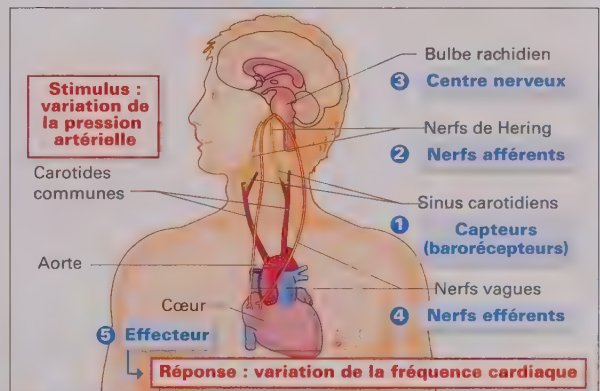
Hering isole le sinus carotidien, le renflement situé à la base de la carotide interne, il le transforme en cul de sac et il y injecte un liquide physiologique en plus ou moins grande quantité, ce qui permet de faire varier la pression : plus il y a de liquide, plus la pression est forte. Lorsque la pression dans le sinus est **supérieure** à la pression artérielle normale, la fréquence cardiaque **diminue**.



3 Les « barorécepteurs » (récepteurs de la pression artérielle) du sinus carotidien.

Castro, à partir de 1925 avait mis en évidence l'existence, dans la paroi des sinus carotidiens, de nombreuses terminaisons nerveuses. Hering montra que ces fibres nerveuses étaient des terminaisons d'un nerf, appelé maintenant nerf de Hering, qui relie le sinus et le bulbe rachidien.

Chez un chien, la section des nerfs de Hering entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque. Lorsqu'elle est suivie d'une stimulation du bout central des ces nerfs (relié au bulbe rachidien), cela entraîne une diminution de la fréquence cardiaque. La stimulation du bout périphérique n'a aucun effet.



4 Les éléments du baroréflexe.

EXPLOITATION

1. Traduire sous forme d'un schéma la théorie de Franck (doc. 1). Vous utiliserez des flèches pour traduire les relations de cause à effet, par ailleurs, les éléments suivants doivent apparaître : occlusion des carotides communes, pression artérielle céphalique, bulbe rachidien, nerfs vagues, cœur.

2. Indiquer en quoi les observations de Hering (doc. 2) réfutent l'interprétation de Franck.

3. Les nerfs de Hering sont-ils des nerfs afférents ou efférents ?

4. Indiquer la succession des événements par laquelle l'occlusion des carotides communes entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque, et celle des carotides externes et internes, une baisse de la fréquence cardiaque (doc. 2 et 3).

La régulation de la pression artérielle par le contrôle de la fréquence cardiaque

Nous savons que la pression artérielle dépend de l'activité cardiaque. La pression artérielle agit sur la fréquence cardiaque par voie réflexe (baroréflexe).



Comment le baroréflexe agit-il sur les valeurs de la pression artérielle ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : connaître la boucle de régulation nerveuse de la pression artérielle via le contrôle de la fréquence cardiaque ; identifier le rôle des différents constituants d'une boucle de régulation.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.



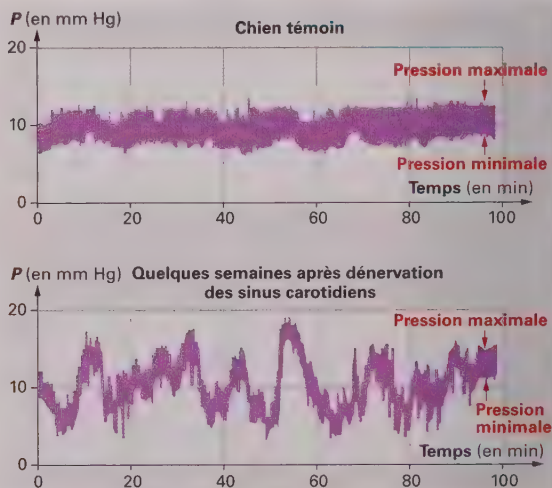
Les effets de la suppression du baroréflexe sur la pression artérielle

1 Suppression de l'innervation du sinus carotidien et effets sur la pression artérielle.

a. Conditions expérimentales

Afin d'étudier le rôle du baroréflexe sur la pression artérielle dans la vie courante, Guyton supprime le baroréflexe en dénervant les sinus carotidiens de jeunes chiens adultes. Plusieurs jours après l'opération, il a enregistré en continu la pression artérielle de ces chiens aux sinus dénervés ainsi que celle de chiens témoins, non opérés, de la même race et de même âge. Tous les chiens étaient placés dans les mêmes conditions au moment de l'enregistrement de la pression artérielle.

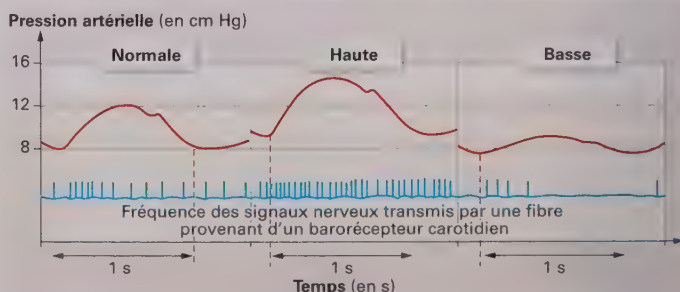
b. Variations de la pression artérielle chez un des chiens témoins et chez un des chiens dont les sinus ont été dénervés.



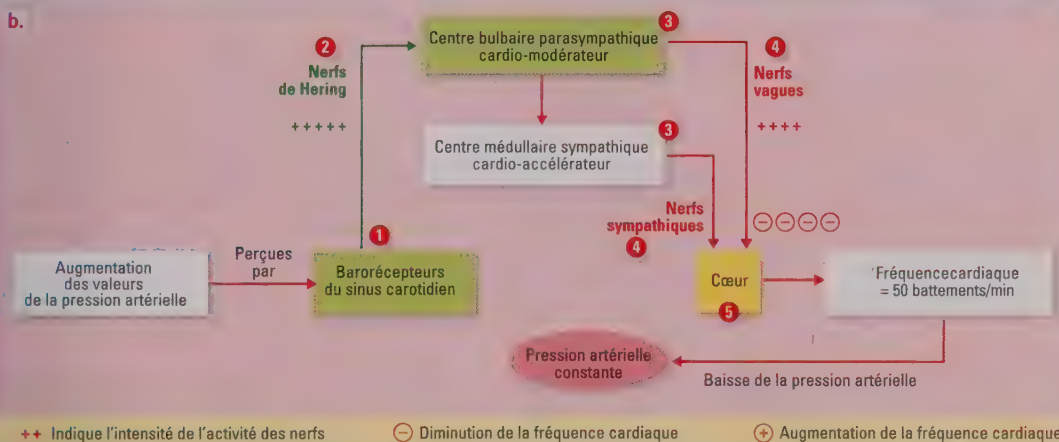
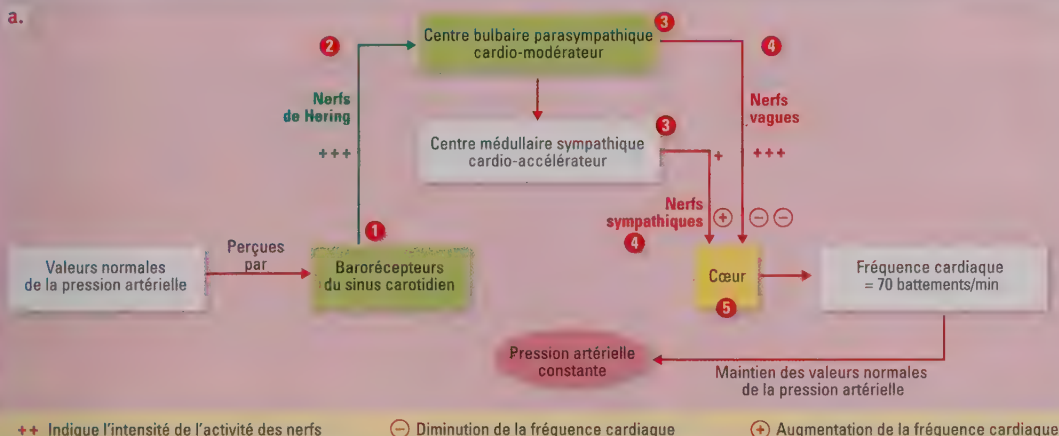
2 Variabilité naturelle de la pression artérielle chez une personne en bonne santé.

Variation de l'intensité du message nerveux sur une fibre du nerf de Hering issue d'un barorécepteur en fonction de la valeur de la pression artérielle.

Remarque : Le message nerveux correspond à un train de signaux de nature électrique qui se propagent sur les fibres nerveuses. Un nerf est constitué de plusieurs fibres nerveuses.



B La boucle de régulation de la pression artérielle



3 La boucle de régulation de la pression artérielle.

- Fonctionnement de la boucle de régulation de la pression artérielle, lorsque la pression artérielle est stable.
- Fonctionnement de la boucle de régulation de la pression artérielle, lorsque la pression artérielle est trop élevée.

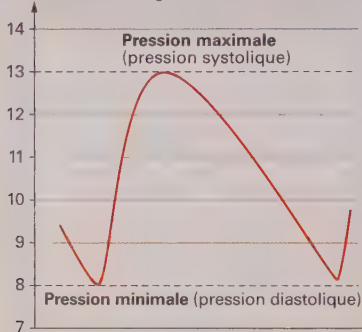
EXPLOITATION

- Décrire quel est le rôle principal du baroréflexe (doc. 1).
- Indiquer comment varie l'activité des barorécepteurs suivant les valeurs de la pression artérielle (doc. 3).
- Pourquoi parle-t-on de boucle de régulation à propos du baroréflexe ?
- Réaliser le schéma de la boucle de régulation de la pression artérielle lorsqu'un événement provoque une diminution de cette pression.

1

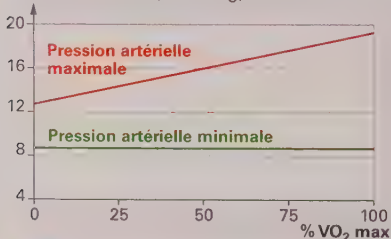
La pression artérielle

Pression (en cm Hg)



1 Variation de la pression artérielle mesurée à la sortie du ventricule gauche (crosse aortique).

Pression artérielle (en cm Hg)



2 Évolution des pressions artérielles maximale et minimale en fonction de l'intensité de l'effort physique.

● On désigne par **pression artérielle** la pression du sang dans les artères de la **circulation générale**. On parle aussi de **tension artérielle**. La mesure de la pression artérielle d'une personne par un médecin se traduit par deux nombres : 13-8 (doc. 1) par exemple, exprimés en cm de mercure. Cela montre que la pression artérielle évolue entre deux valeurs : une pression artérielle **maximale** et une pression artérielle **minimale**.

● Cette variation entre deux valeurs est liée à l'**activité cardiaque**. La valeur maximale est atteinte durant la contraction du ventricule gauche (éjection du sang dans l'aorte) ; la valeur minimale à la fin de la diastole ventriculaire. Aussi la **pression maximale** est dite **systolique** et la **pression minimale** diastolique.

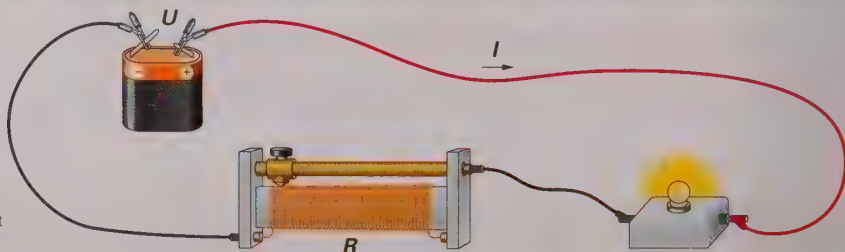
● La pression artérielle dépend donc de l'**activité cardiaque**. Ainsi une augmentation du débit cardiaque tend à augmenter la pression artérielle et c'est l'inverse pour une diminution. Le débit cardiaque n'est toutefois pas le seul facteur influençant la pression artérielle. Elle dépend aussi de la résistance à l'écoulement du sang rencontrée dans le système artériel au sein des organes (doc. 3).

● Des enregistrements sur 24 heures de la pression artérielle montrent qu'elle varie, diminuant notamment au cours du sommeil. Elle varie aussi avec l'activité physique, les émotions, l'activité intellectuelle. Durant l'activité physique, la pression diastolique reste voisine de la valeur de repos ; en revanche la pression systolique augmente avec l'intensité de l'effort (doc. 2). Néanmoins, les variations de la pression artérielle s'effectuent dans un intervalle réduit (**activité 1**). Chez un adulte jeune, en position allongée, les valeurs normales de la pression artérielle se situent pour la systolique entre 11 et 14 cm de mercure et pour la diastolique entre 6 et 8 cm de mercure.

● Dans le document 3, la tension U équivaut à la pression artérielle (PA), l'intensité I correspond au débit cardiaque (DC), et la résistance électrique R à la résistance à l'écoulement du sang développée par les vaisseaux. Par analogie avec la loi d'Ohm, on peut écrire : $PA = DC \times R$.

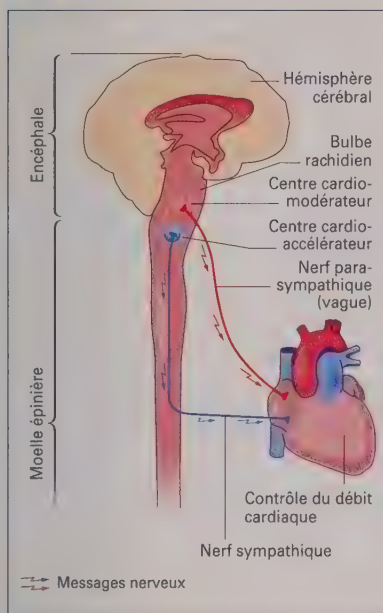
$$U = R \times I$$

U : tension électrique (volts)
 R : résistance (ohms)
 I : intensité du courant (ampères)



3 Analogie électrique de la circulation sanguine.

Le contrôle de l'activité cardiaque



4 Schéma simplifié de l'innervation du cœur (vue de profil).

● Isolé de l'organisme, donc en dehors de tout message nerveux et hormonal, le cœur des mammifères continue à battre. L'origine de son activité réside dans le cœur même, on qualifie ce fonctionnement d'**automatique**.

● Au sein de l'organisme, l'activité cardiaque est néanmoins modulée par le système nerveux. Le cœur est innervé par deux nerfs **parasympathiques** (ou nerfs vagues) issus du bulbe rachidien et des **nerfs sympathiques** issus de la moelle épinière (doc. 2). Ce sont des nerfs **efférents**, c'est-à-dire qu'ils conduisent des messages du centre bulbaire cardio-modérateur (nerfs parasympathiques) vers le cœur, et du centre médullaire cardio-accélérateur (nerfs sympathiques) vers le cœur.

Les messages véhiculés par les nerfs parasympathiques ont pour effet de ralentir la fréquence cardiaque, ceux conduits par les nerfs sympathiques entraînent une augmentation de la fréquence cardiaque.

● La fréquence cardiaque est influencée **en permanence** par les messages nerveux sympathiques et parasympathiques. Au repos, l'influence des messages nerveux parasympathiques l'emporte sur celle des nerfs sympathiques, de sorte que la **fréquence du cœur dans un organisme au repos** (70 battements /minute) est **inférieure** à celle d'un cœur isolé (**activité 2**).

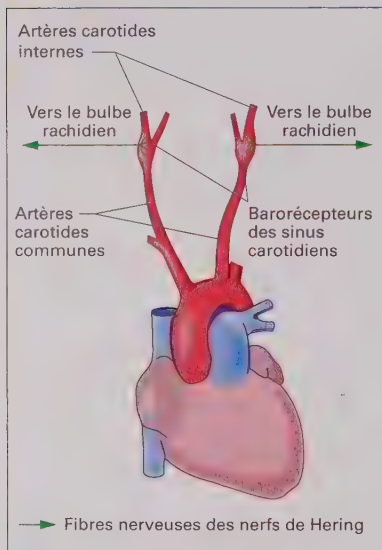
● Au cours d'une **activité physique**, l'**intensité** des messages nerveux parasympathiques **diminue**, voire devient **nulle**, alors que celle des messages sympathiques **augmente** avec l'intensité de l'effort. En conséquence la fréquence cardiaque à l'effort peut atteindre 200 battements/min contre 100 battements/min pour un cœur isolé.

Vitesse du tapis roulant (en km/h)	Activité des fibres nerveuses des nerfs	
	Parasympathiques (vagues)	Sympathiques
Nulle (arrêt)	+++	+
Réduite (marche)	++	++
Rapide (course)	+	++++

5 Variation de l'intensité des messages nerveux parcourant les nerfs cardiaques en fonction de l'intensité de l'effort.

Le signe + indique l'intensité des signaux électriques qui parcourent les fibres nerveuses sympathiques et parasympathiques au cours de différentes intensités d'effort.

3 Un réflexe agissant sur la fréquence cardiaque



6 Localisation des barorécepteurs et des nerfs afférents.

● Une **augmentation** de la pression artérielle entraîne dans les secondes qui suivent une **diminution de la fréquence cardiaque** ; une **diminution** de la pression artérielle provoque une **augmentation de la fréquence cardiaque**. Ces modifications sont abolies si les nerfs parasympathiques et sympathiques cardiaques sont sectionnés donc si le cœur ne reçoit plus de messages nerveux. Les variations de la pression artérielle agissent donc sur la fréquence cardiaque **par l'intermédiaire des messages nerveux sympathiques et parasympathiques**.

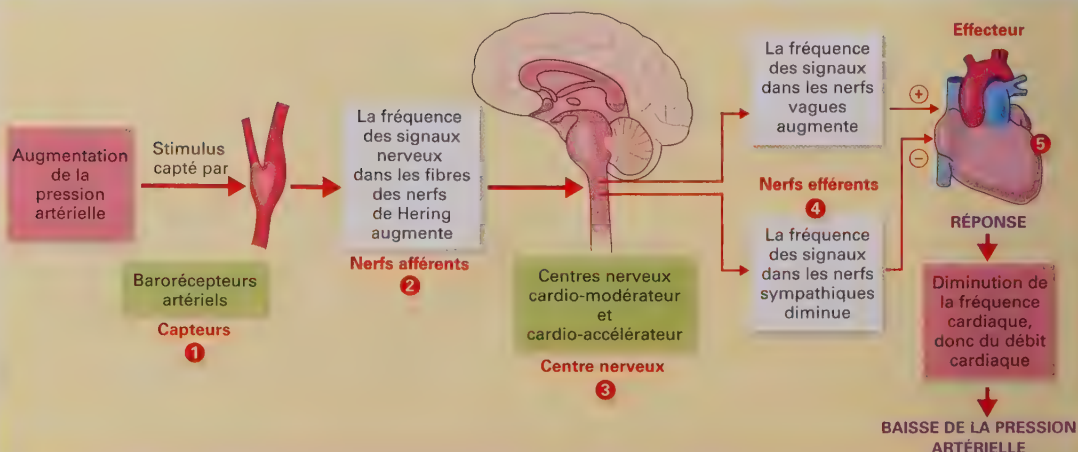
● Chacune des artères carotides droite et gauche issue de l'aorte bifurque au niveau du cou en une carotide externe et une carotide interne. À sa base, chaque carotide interne présente une dilatation qu'on appelle sinus carotidien (doc. 6). Dans la paroi de l'artère, au niveau du sinus, existent des terminaisons nerveuses qui sont des **capteurs de pression** ou **barorécepteurs** : ils **émettent des messages nerveux d'autant plus intenses que la pression artérielle est élevée dans le sinus carotidien**. Ces terminaisons nerveuses sont les extrémités des fibres nerveuses d'un nerf qui relie le sinus carotidien au bulbe rachidien, le nerf de Hering. Ce nerf est un **nerf afférent** qui véhicule des messages nerveux vers le bulbe rachidien, messages qui le renseignent sur la valeur de la pression artérielle.

● Ainsi, la pression artérielle agit sur la fréquence cardiaque par l'intermédiaire d'un **réflexe** qui comme tous les réflexes comprend cinq éléments :

- des **capteurs**, les barorécepteurs carotidiens et aortiques répondant au stimulus « pression artérielle » ;
- des **nerfs afférents**, les nerfs de Hering et de Cyon ;
- un **centre nerveux**, le centre cardio-modérateur (situé dans le bulbe rachidien) et le centre cardio-accélateur (situé dans la moelle épinière) ;
- des **nerfs efférents**, les nerfs parasympathiques et sympathiques cardiaques ;
- un **organe effecteur**, le cœur, dont la fréquence change en fonction des messages qu'il reçoit (**activité 3**).

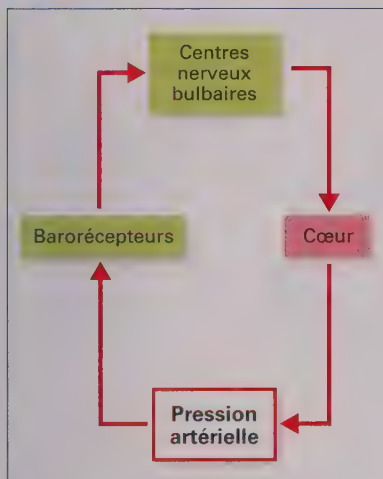
● Le document 7 montre le fonctionnement de ce réflexe en cas d'augmentation de la pression artérielle.

7 Le baroréflexe.



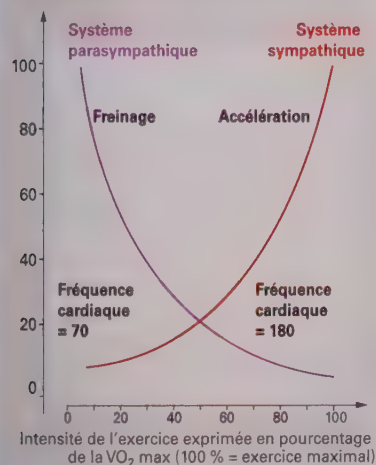


La boucle de régulation de la pression artérielle



8 La boucle de régulation de la pression artérielle simplifiée.

Fréquence des messages nerveux parcourant les fibres des nerfs sympathiques et parasympathiques exprimée en % de leur activité maximale.



9 La fréquence cardiaque est contrôlée par les messages nerveux.

● Les données cliniques chez des personnes dépourvues de baroréflexes (opérations chirurgicales ayant affecté les régions des barorécepteurs) montrent que les variations journalières de la pression artérielle sont beaucoup plus importantes que chez des personnes témoins. Le rôle du baroréflexe est donc de s'opposer à des variations importantes de la pression artérielle, de la maintenir dans une fourchette étroite de valeurs. On dit que la pression artérielle est soumise à régulation. Le baroréflexe s'oppose donc à des épisodes prolongés d'hypertension et d'hypotension artérielle (activité 4).

● En cas de forte hypotension, les organes sont mal irrigués, ce qui risque d'être dommageable très rapidement pour le cerveau (vertiges, étourdissements, voire évanouissements). En cas d'épisode d'hypertension, il y a un risque d'accident vasculaire, en particulier cérébral avec hémorragie. La fréquence cardiaque peut quant à elle varier dans un intervalle étendu : elle n'est pas régulée mais modulée ou contrôlée. Ce contrôle est réalisé en faveur de la régulation de la pression artérielle. La régulation de la pression artérielle est donc très importante pour l'organisme.

⇒ (Questions de sciences p. 256)

● Le baroréflexe fonctionne en permanence, même au repos le plus complet car les barorécepteurs, aux valeurs normales de la pression artérielle, émettent en permanence des messages nerveux. Ce sont les variations dans le fonctionnement du baroréflexe qui maintiennent la pression artérielle dans d'étroites limites autour des valeurs de base. Ainsi si un évènement quelconque entraîne une baisse de pression artérielle, le baroréflexe en un temps très court change et provoque une accélération du cœur. Cette augmentation de la fréquence cardiaque entraîne une augmentation du débit cardiaque et par là s'oppose à la baisse de pression. L'inverse est vrai. Une régulation désigne un processus dans lequel toute variation d'un paramètre dans un sens est suivie de sa variation dans le sens opposé. L'action du baroréflexe a pour effet de s'opposer à la perturbation initiale de la pression artérielle : c'est pourquoi on parle de boucle de régulation (doc. 8).

● Il faut bien faire la différence entre un paramètre qui est soumis à régulation, comme la pression artérielle, et un paramètre qui n'est pas régulé mais contrôlé, comme la fréquence cardiaque. Le paramètre soumis à régulation varie peu, ce qui est très important pour la vie de l'organisme. Le paramètre contrôlé par l'organisme doit pouvoir varier beaucoup en fonction des messages qu'il reçoit. Ainsi la fréquence cardiaque augmente beaucoup au cours d'une activité physique (doc. 9), ce qui est indispensable à la réalisation de l'effort. Elle augmente en cas de chute de la pression artérielle, ce qui permet de rétablir cette dernière, ce qui est vital pour l'organisme.

● L'augmentation de la fréquence cardiaque au cours de l'activité physique n'est pas due au fonctionnement du baroréflexe. Ce sont d'autres mécanismes en rapport avec la nécessité d'apporter davantage de dioxygène aux muscles qui sont en jeu. Le baroréflexe fonctionne encore pendant l'effort mais en ne s'opposant pas à l'augmentation de la fréquence cardiaque. Il évite que la pression artérielle soit trop élevée.

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Régulation de la pression artérielle



La **pression artérielle** dépend du débit cardiaque. Elle évolue entre **deux valeurs**, la **maximale** dite systolique, la **minimale** dite diastolique.

Les valeurs de la pression artérielle sont maintenues dans des limites étroites grâce à la mise en jeu constante d'un **réflexe**. Elle est donc soumise à **régulation**, ce qui est essentiel pour la bonne santé de l'organisme.

L'effet du réflexe est de **répondre aux variations** de la pression artérielle (**stimulus**) qui tendent à intervenir constamment en s'y opposant. On parle de **boucle de régulation**.

Le **réflexe** fait intervenir successivement cinq éléments :

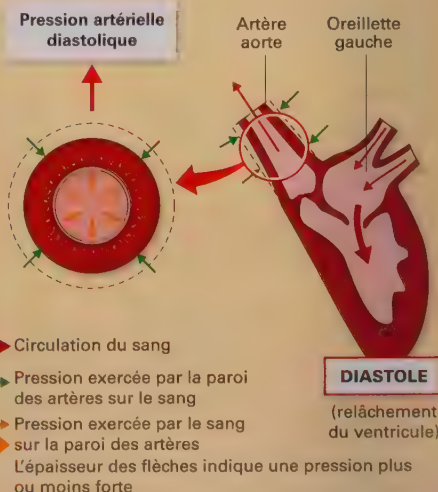
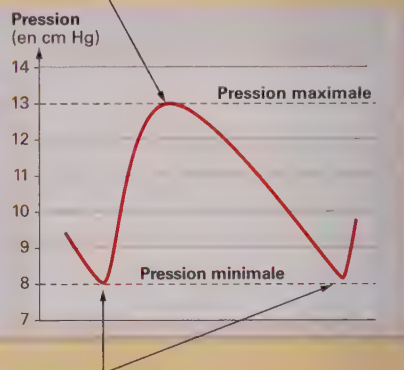
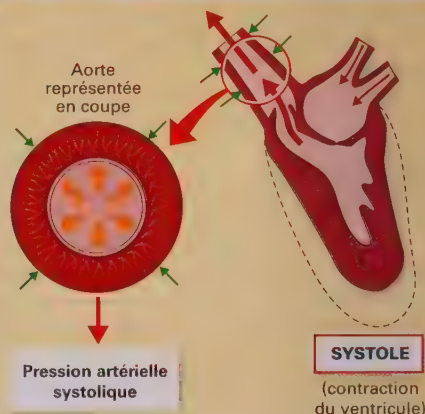
- les **capteurs**, les barorécepteurs artériels qui émettent des messages nerveux d'intensité variable en fonction de la valeur de la pression artérielle (stimulus) ;
- les **nerfs afférents** – nerfs de Hering – qui véhiculent les messages nerveux, nés au niveau des barorécepteurs, jusqu'aux centres nerveux ;
- les **centres nerveux bulbaires et médullaires** où les messages nerveux afférents stimulent le centre cardio-modérateur et inhibent le centre cardio-accelérateur ;
- les **nerfs efférents** parasympathiques et sympathiques qui véhiculent les messages nerveux nés au niveau des centres bulbaires ;
- le **cœur**, organe **effecteur**, qui réagit aux messages nerveux qu'il reçoit par les nerfs efférents en diminuant ou augmentant sa **fréquence cardiaque (réponse)**.

La **réponse** c'est le **changement** de fréquence de l'effecteur cardiaque qui influe sur la pression artérielle en **s'opposant à la perturbation initiale**.

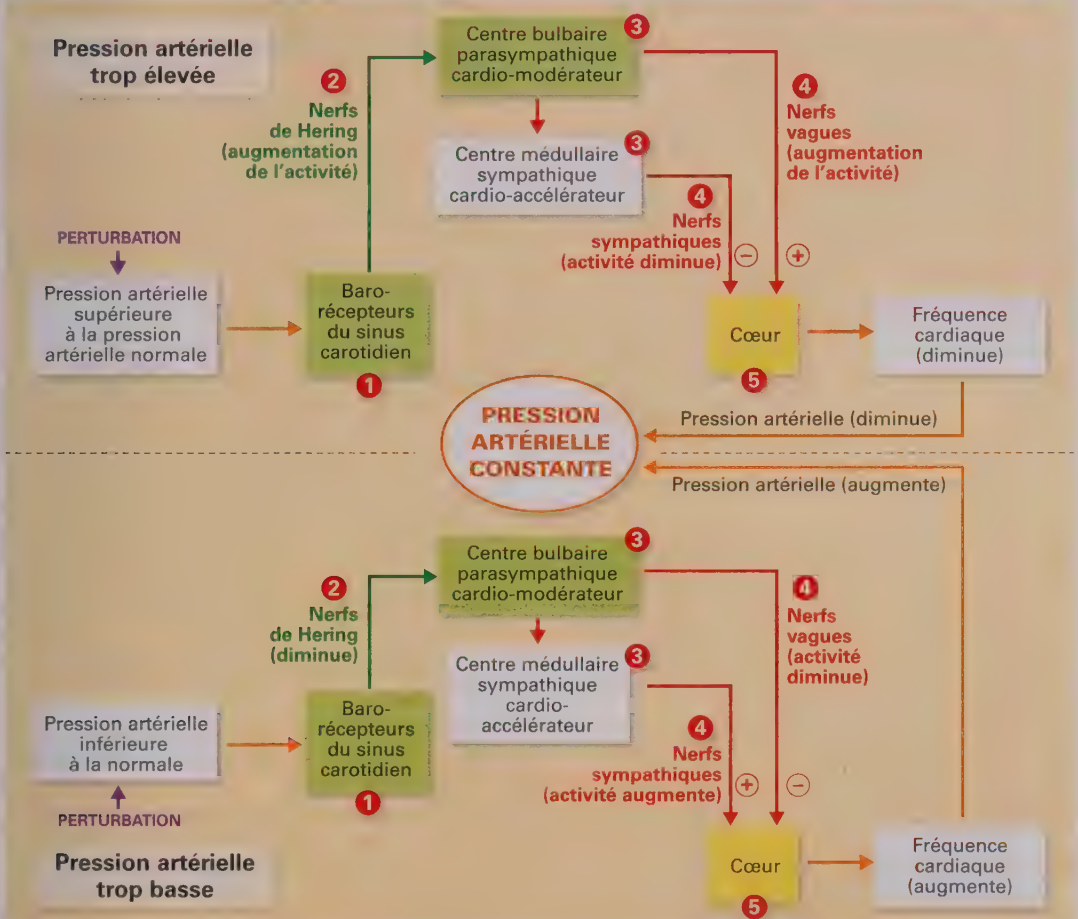
CAPACITÉS ET ATTITUDES

- Pratiquer une démarche scientifique : expérimenter et raisonner.
- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Comprendre la nature provisoire, en devenir, du savoir scientifique.
- Recenser, extraire et exploiter des documents historiques.
- Communiquer dans un langage scientifiquement approprié.

■ La pression artérielle, une variable entre deux valeurs extrêmes



■ Fonctionnement de la boucle de régulation de la pression artérielle



■ Boucle de régulation de la pression artérielle



Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

EXERCICE CORRIGÉ

Parmi les affirmations suivantes, indiquez la (ou les) réponses exactes.

- a.** La pression artérielle :
1. évolue entre une valeur maximale dite diastolique et une valeur minimale dite systolique.
 2. dépend de l'activité cardiaque.
 3. est maintenue constamment constante car c'est une variable soumise à régulation.
 4. est un risque pour la santé lorsque la valeur maximale dépasse 14 cm de Hg.
- b.** La fréquence cardiaque :
1. au repos est uniquement due à l'automatisme cardiaque.
 2. est augmentée par les messages nerveux des nerfs sympathiques.
 3. augmente à la suite d'une hausse de la pression artérielle.
- c.** Le baroréflexe :
1. a pour origine la stimulation des barorécepteurs carotidiens par la pression artérielle.
 2. a pour effecteur le cœur.
 3. contribue à empêcher des variations importantes de la pression artérielle.
 4. n'est pas fonctionnel dans les conditions de repos, lorsque la pression artérielle est stable.
- d.** Une chute de la pression artérielle entraîne :
1. une augmentation de l'intensité des messages véhiculés par les nerfs de Hering.
 2. une augmentation des messages véhiculés par les nerfs sympathiques cardiaques.
 3. une augmentation des messages véhiculés par les nerfs parasympathiques cardiaques.
- e.** Une boucle de régulation :
1. est un mécanisme qui a pour effet de s'opposer à la variation d'un paramètre (par exemple la pression artérielle).
 2. implique l'existence de capteurs capables de détecter les variations du paramètre régulé.
 3. maintient constante la valeur d'un paramètre.

2 Établir des associations entre deux séries de données

Associer chaque élément de la liste A à un ou plusieurs éléments de la liste B.



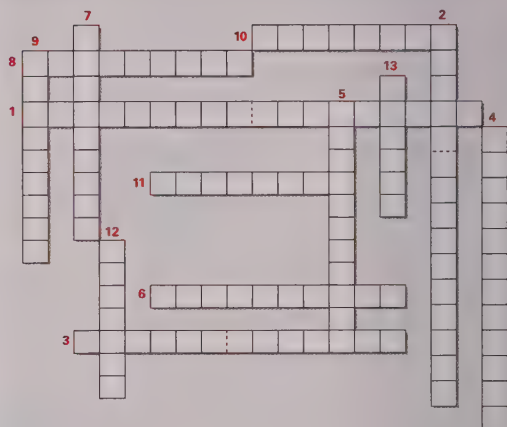
- Liste A :** **a.** Nerf qui conduit les messages nerveux d'un centre nerveux vers un organe. **b.** Nerf qui conduit les messages nerveux émis par des récepteurs vers un centre nerveux. **c.** cœur. **d.** Nerfs qui ralentissent le cœur. **e.** Nerfs qui accélèrent le cœur. **f.** Reçoit des messages et en réémet vers un ou plusieurs organes. **g.** Elle est maximale.
- Liste B :** **1.** Centre nerveux. **2.** Organe effecteur dans le baroréflexe. **3.** Systole ventriculaire. **4.** Nerfs parasympathiques. **5.** Nerfs sympathiques. **6.** Nerf afférent. **7.** Nerf efférent.

3 Mots croisés

EXERCICE CORRIGÉ

À l'aide des définitions retrouver les mots puis les placer dans la grille.

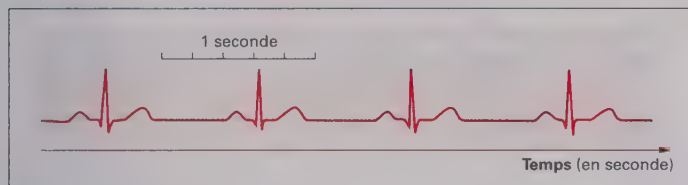
Définitions



1. L'un des paramètres principaux dont dépend la pression artérielle.
2. Organe dans lequel on a localisé des récepteurs de la pression artérielle.
3. Structure qui reçoit des messages nerveux provenant des organes récepteurs et y répond en émettant d'autres messages nerveux.
4. Nerfs dont l'effet est prépondérant sur le cœur lors d'un effort physique intense.
5. Qualifie la valeur minimale de la pression artérielle.
6. Qualifie la valeur maximale de la pression artérielle.
7. Qualifie le rôle des nerfs de Hering dans le baroréflexe.
8. Organe dont l'action est de modifier un paramètre de l'organisme soumis à la régulation.
9. Qualifie les nerfs qui conduisent des messages nerveux en provenance d'un centre.
10. Ils réagissent aux variations d'un paramètre de l'organisme.
11. Signal interne ou externe qui provoque une réaction réponse dans l'organisme.
12. Réponse de l'organisme indépendante de la volonté.
13. Ils ne sont pas sympathiques mais le repos de notre cœur en dépend.

Analyser des documents

4 Activité cardiaque au cours d'efforts physiques Pratiquer un raisonnement scientifique



1 Électrocardiogramme au repos.



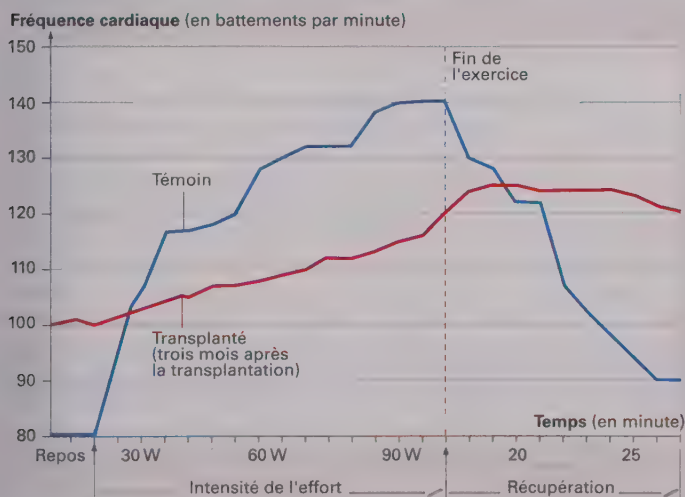
2 Électrocardiogramme au cours d'un effort intense.

On a enregistré la fréquence cardiaque (électrocardiogramme) chez un sportif au repos et cours d'un effort intense

a. Calculer la fréquence cardiaque pour chaque électrocardiogramme obtenu.

b. À l'aide de vos connaissances, indiquer l'importance relative de l'action des nerfs sympathiques et parasympathiques au moment de l'enregistrement de chaque électrocardiogramme.

5 Tirer et exploiter des informations d'un graphe Pratiquer un raisonnement scientifique



Comparaison des fréquences cardiaques chez un individu témoin sédentaire, non greffé, et un individu greffé du cœur, trois mois après la transplantation.

La figure renseigne sur l'évolution de la fréquence cardiaque au cours d'un effort d'intensité croissante chez un témoin menant une vie sédentaire et chez une personne ayant reçu une greffe cardiaque, trois mois après la transplantation. Chez l'individu greffé, le cœur n'a plus d'innervation.

a. Comparer la fréquence cardiaque au repos de ces deux personnes et expliquer, à l'aide de vos connaissances, la différence constatée.

b. Montrer, à partir des informations extraites du graphe, que chez le témoin le système nerveux joue un rôle important dans l'évolution de la fréquence cardiaque au cours de l'effort.

c. À l'aide de vos connaissances, indiquer comment évoluent les messages nerveux des nerfs cardiaques au cours de l'effort.

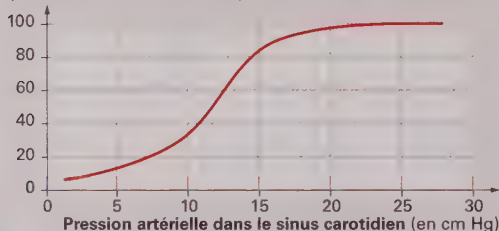
d. À partir d'informations extraites du document, trouver un argument en faveur de l'idée que l'évolution de la fréquence cardiaque au cours de l'effort ne dépend pas uniquement des messages nerveux.

6 Pression artérielle et activité des nerfs cardiaques

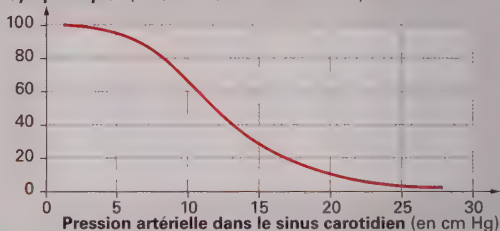
Pratiquer un raisonnement scientifique

Les graphes indiquent l'intensité relative des messages nerveux véhiculés par les nerfs de Hering et les nerfs sympathiques cardiaques en fonction de la pression artérielle dans le sinus carotidien.

Fréquence des signaux nerveux émis par les barorécepteurs (en % de l'activité maximale)



Fréquence des signaux émis par les fibres des nerfs sympathiques (en % de l'activité maximale)



1 Activité des barorécepteurs en fonction de la valeur de la pression artérielle dans le sinus carotidien.

a. Résumer comment évoluent les messages nerveux véhiculés par les nerfs d'Hering et les nerfs sympathiques en fonction de la pression artérielle dans le sinus carotidien.

2 Activité des nerfs sympathiques en fonction de la valeur de la pression artérielle dans le sinus carotidien.

b. D'après vos connaissances sur le baroréflexe, dites quel est l'intérêt de l'évolution de la fréquence des signaux dans les fibres de chacun des nerfs lorsque la pression dépasse 15 cm Hg.

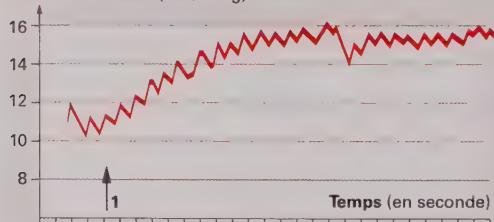
7 Conséquences de sections nerveuses sur la pression artérielle

EXERCICE CORRIGÉ



Pratiquer un raisonnement scientifique

Pression artérielle (en cm Hg)



1. Section des deux nerfs issus des sinus carotidiens.

1 Enregistrement de la pression artérielle après section des nerfs issus des barorécepteurs carotidiens.

Pression artérielle (en cm Hg)



1. Occlusion des carotides communes

2. Désocclusion des carotides communes

2 Enregistrement de la pression artérielle après occlusion et désocclusion des carotides communes.

Heymans a étudié, chez une espèce de singe, *Papio cynocephalus*, la conséquence de la section des nerfs issus des barorécepteurs carotidiens sur la pression artérielle. Celle-ci était enregistrée au niveau de l'artère fémorale par l'intermédiaire d'un manomètre à mercure. Le document 1 figure les résultats obtenus.

Heymans a aussi expérimenté sur l'influence de l'occlusion et de la désocclusion des carotides communes sur la pression artérielle chez un singe de la même espèce. Là aussi, il a enregistré la pression artérielle au niveau de l'artère fémorale. Le document 2 figure les résultats obtenus.

a. Indiquer quel est l'effet immédiat de la section des nerfs issus des barorécepteurs artériels sur la pression artérielle (doc. 1). Proposer une explication à l'aide de vos connaissances.

b. Quel est l'effet de l'occlusion des carotides communes sur la pression artérielle au niveau des sinus carotidiens ? À partir des informations extraites du document 2 indiquer quelle en est la conséquence sur la pression artérielle dans les autres artères de l'organisme.

c. Sous la forme d'un schéma fonctionnel, indiquer la succession des événements ayant conduit aux faits constatés lors de l'occlusion des carotides d'une part, lors de la désocclusion d'autre part.

8 Les conséquence de l'ablation des sinus carotidiens

Elghozi rapporte le cas d'une personne dont les deux sinus carotidiens ont été détruits à la suite d'une opération ayant enlevé des tumeurs au niveau de la bifurcation des carotides. Les variations de la pression artérielle de cette personne ont été enregistrées quand elle était au repos, couchée sur une table, puis lorsque cette table était inclinée de telle sorte que la personne se retrouvait en position redressée (« tilt-test »). Le passage de la position couchée à la position debout a pour effet immédiat d'abaisser la pression artérielle.

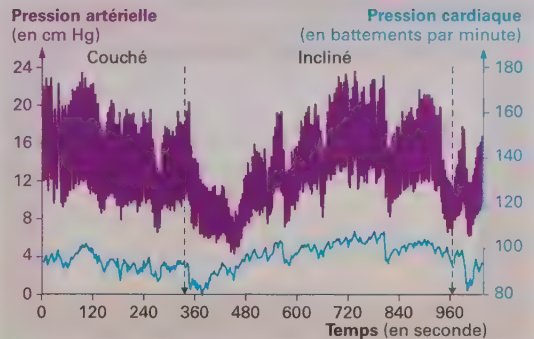


1 Personne dont les sinus carotidiens ont été supprimés au cours d'une intervention chirurgicale.

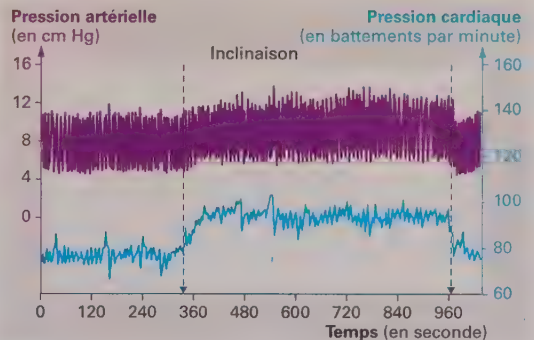
- À partir de la comparaison des enregistrements de la pression artérielle en position couchée des deux personnes, dégager l'importance du baroréflexe dans la vie de tous les jours.
- Comparer l'effet du passage de la position couchée à la position redressée chez les deux personnes.
- À partir de l'enregistrement de la pression artérielle du témoin (sujet sain), dégager deux arguments en faveur de l'idée qu'il y a eu intervention d'un mécanisme de régulation de la pression artérielle lors du changement de position.

Pratiquer un raisonnement scientifique

Les documents 2 et 3 sont des enregistrements de la pression artérielle de cette personne, et d'une personne témoin de même âge et de même corpulence.



2 Évolution de la pression artérielle dans le cas d'une personne ayant subi une ablation des sinus carotidiens.



3 Évolution de la pression artérielle chez un sujet sain (témoin).

Restituer ses connaissances de façon organisée

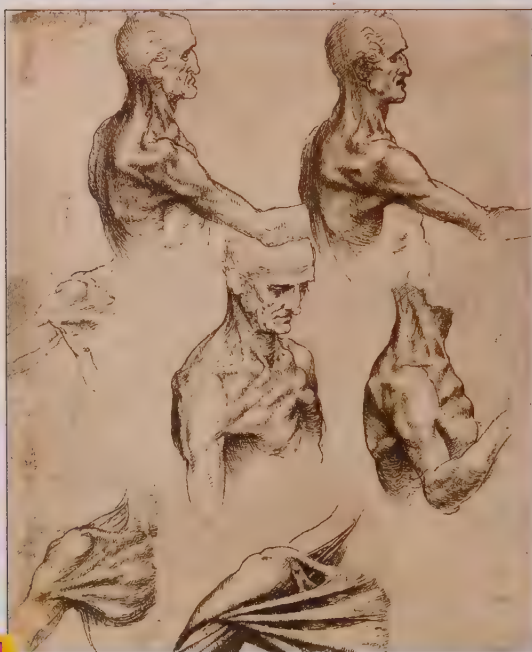
9 Modulation nerveuses de l'activité cardiaque

- Les messages nerveux reçus par le cœur modulent son activité au repos et au cours d'efforts de plus en plus intenses. Exposer les bases de ce contrôle.

10 Boucle de régulation

- Sous forme d'un schéma fonctionnel, indiquer la succession des événements qui interviennent à la suite d'une hausse de la pression artérielle et qui ont pour effet de la ramener à sa valeur normale. En conclusion, indiquer ce qu'on appelle boucle de régulation. Dans ce schéma, on ne fera intervenir que les éléments anatomiques suivants : *barorécepteurs carotidiens, nerf de Hering, centre bulbaire cardio-modérateur, nerf parasympathique cardiaque et cœur.*

➤ Les muscles et les articulations sont des structures essentielles à la réalisation d'un mouvement. Se consacrer à une activité sportive régulière est largement recommandé pour se maintenir en bonne santé. Cependant, elle doit être pratiquée de manière raisonnée afin d'éviter les accidents musculo-articulaires ou d'autres effets néfastes sur l'organisme.



1 Léonard de Vinci (1452-1519), *Étude des muscles du cou et de l'épaule*, croquis, dessin.



2 Edgar Degas (1834-1917), *Danseuses à la barre*, peinture sur toile, technique mixte, 756 x 813 cm (The Metropolitan Museum of art, New-York, États-Unis)

Étude des muscles du cou et de l'épaule.

À la Renaissance, afin de représenter avec le plus d'exactitude possible les silhouettes et les postures, certains artistes comme Léonard de Vinci, ou Michel-Ange (1475-1564), étudient en détail les muscles du corps. Accompagnés par des anatomistes, ils pratiquent la dissection. Les scientifiques exploitent en retour ces illustrations artistiques dans leurs publications.

Comment les muscles participent-ils aux mouvements ?

Échauffement des danseuses.

Quelle que soit l'activité sportive, un temps d'échauffement avant l'effort aide à prévenir les accidents.

Comment l'échauffement et les exercices d'étirement permettent-ils d'éviter les accidents musculo-articulaires ?

activité physique sa santé



3

Accidents de l'appareil locomoteur survenus au cours de l'activité sportive.

Le tacle arrière est un geste sévèrement puni au football, car il peut occasionner de graves lésions comme une entorse ou une fracture.

En quoi l'analyse des accidents de l'appareil locomoteur aide-t-elle à comprendre le fonctionnement normal du système musculo-articulaire ?



4

Tom Simpson, cycliste décédé en course.

Tom Simpson trouve la mort sur les pentes du mont Ventoux lors de la 13^e étape du Tour de France cycliste de 1967. La fatigue, la chaleur étouffante (35 °C), l'effort, la privation d'eau et la prise de produits dopants (amphétamines) ont conduit au dépassement des capacités thermorégulatrices du corps, à l'origine du coma qui lui fut fatal.

Quels sont les effets du dopage sur la santé des sportifs ?

La réalisation d'un mouvement

Nous savons que, lors d'un mouvement, un certain nombre d'organes interviennent de manière coordonnée.



Comment interviennent les muscles, les os et les articulations lors de la réalisation d'un mouvement ?

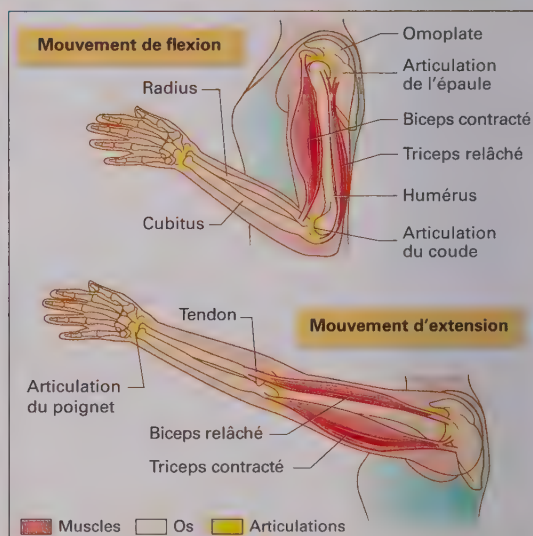
OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre comment la contraction et le relâchement coordonnés des muscles assurent le mouvement en permettant le déplacement d'os articulés entre eux.
- **Capacités** : manipuler d'après un protocole ; utiliser les technologies de l'information et de la communication (Mesurim).

A Contraction des muscles et mouvements



1 Flexion et extension d'un membre lors d'un mouvement. La chronophotographie montre la flexion et l'extension de deux segments (bras et avant-bras) d'un membre antérieur.



2 Contraction et relâchement des muscles antagonistes* du bras lors de deux positions successives dans le déroulement du geste.

3 Mesure, à l'aide d'un logiciel, des muscles extenseurs et fléchisseurs d'un membre postérieur de grenouille.

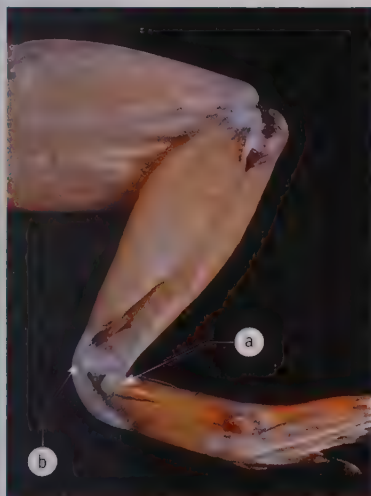


Protocole



1. Réaliser une photographie de la partie postérieure d'une grenouille en utilisant comme fond, une feuille de papier millimétré. L'animal est disposé avec une patte postérieure en extension complète et l'autre en flexion complète.
2. Importer ces clichés dans un ordinateur, puis les ouvrir dans le logiciel Mesurim. (→ Voir le tutoriel du logiciel Mesurim).
3. Mesurer à l'aide du logiciel (en cm) l'épaisseur maximale et la longueur maximale (prise à l'extrémité des tendons) des muscles fléchisseurs et extenseurs du membre postérieur pour chacun des deux mouvements.

B La mécanique du mouvement



4 La réalisation d'un mouvement.

Protocole

1. Couper les tendons* situés en a et b.
2. Tirer respectivement sur l'un ou l'autre des tendons à l'aide des pinces.

VOCABULAIRE

Muscles antagonistes : muscles ayant une action contraire et œuvrant à la même fonction.

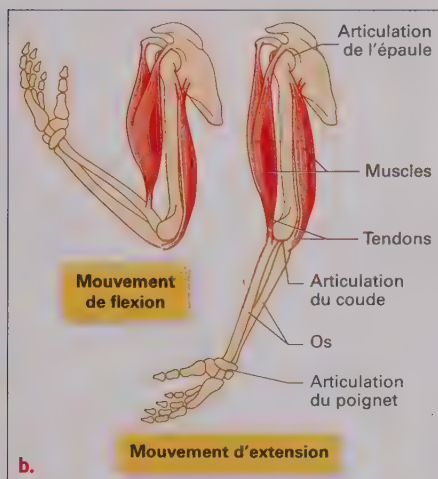
Tendon : extrémité du muscle accrochée à l'os.



5 Modèle analogique du mouvement.

Le mouvement d'un membre peut être comparé à celui d'une pelle mécanique, car il fait intervenir un système de leviers. Un levier est une barre rigide, se déplaçant autour d'un axe de rotation et soumise à l'action d'une force émanant d'un générateur de force. Dans le cas de la pelle mécanique, le bras, la flèche et le godet sont les leviers. Ceux-ci sont mobiles les uns par rapport aux autres grâce aux trois axes de rotation. Enfin, les vérins sont les générateurs de force permettant les mouvements.

a. Pelle mécanique. b. Mouvements du membre antérieur.



EXPLOITATION

1. Expliquer pourquoi on peut qualifier le biceps et le triceps de muscles antagonistes (doc. 1 et doc. 2).
2. Justifier le fait que le biceps soit un muscle fléchisseur et le triceps un muscle extenseur (doc. 2).
3. Présenter dans un tableau les valeurs obtenues avec le logiciel Mesurim concernant le diamètre et la longueur des muscles extenseurs et fléchisseurs de la patte postérieure de grenouille lors des deux mouvements et les comparer (doc. 3).
4. Quel est le mouvement observé en tirant sur le tendon a ? sur le tendon b (doc. 4) ?
5. En quoi le fait de tirer sur un tendon détaché de l'os permet-il de simuler la contraction du muscle auquel il appartient (doc. 4) ?
6. Expliquer quels sont les organes jouant le rôle de levier, d'axe de rotation et de générateur de force dans l'exemple du membre antérieur. Le modèle de la pelle mécanique décrit-il exactement le mouvement du membre antérieur (doc. 5) ?

Organisation des muscles et des articulations

Nous savons qu'un muscle est relié par ses tendons à des os articulés entre eux. Sa contraction exerce une force sur les os permettant leurs mouvements relatifs.

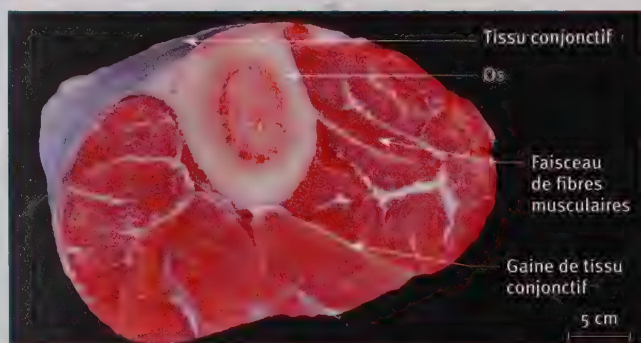


Comment la structure du muscle permet-elle les changements associés à la contraction et au relâchement ?

OBJECTIFS

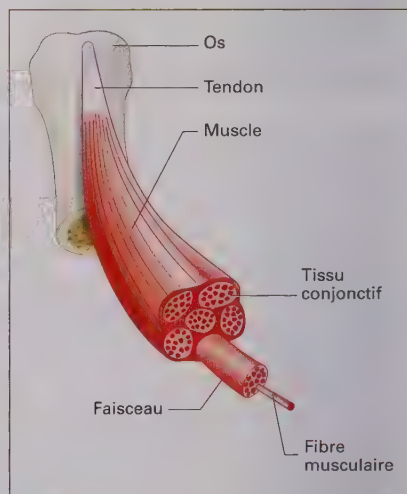
- **Connaissances** : comprendre le lien entre la structure du muscle et la contraction.
- **Capacités** : manipuler d'après un protocole ; pratiquer une démarche scientifique : modéliser.

A La structure fibreuse du muscle

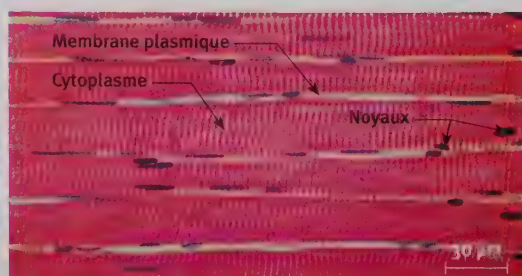


1 Coupe transversale réalisée dans un muscle de bœuf.

Un muscle squelettique est composé par des faisceaux de tailles diverses délimités par du tissu conjonctif. Les faisceaux sont constitués par des fibres musculaires. Les vaisseaux sanguins et les fibres nerveuses empruntent les espaces du tissu conjonctif puis se ramifient et arrivent au voisinage de chaque fibre.



2 Divers niveaux d'organisation d'un muscle.



3 Fibres musculaires observées au microscope optique.

Chaque fibre musculaire est une cellule musculaire. Ces cellules sont plurinucléées et ont une taille importante (de quelques mm à quelques cm de longueur). La longueur de ces cellules varie et entraîne le raccourcissement ou l'allongement associés à la contraction ou au relâchement du muscle dans son intégralité.

Protocole

1. Prélever un petit cube de quelques millimètres de côtés d'un morceau de viande cuite (la viande est constituée de muscles).
2. Placer le morceau dans une goutte d'eau préalablement déposée sur une lame de verre.
3. Dilacerer le morceau en le « peignant » à l'aide d'une aiguille lancéolée dans le sens des fibres. Le morceau est maintenu à l'aide d'une aiguille.
4. Écraser délicatement à l'aide du pouce le résultat de la dilacération entre deux lames.
5. Enlever l'eau à l'aide d'un papier filtre. Colorer la préparation avec du bleu de méthylène avant de la recouvrir d'une lamelle.
6. Observer la préparation ainsi réalisée au microscope optique.

B Mobilité des os et articulations



4 L'articulation du coude.

a. Articulation d'un coude de veau. Une cavité articulaire comprise entre les deux cartilages articulaires renferme un liquide huileux appelé synovie (non visible sur la photo).

b. Radiographie d'un coude humain.

C Modélisation de la flexion et de l'extension du bras

Il est possible de modéliser par une maquette le fonctionnement d'un bras en utilisant le matériel suivant mis à disposition.



5 Maquette modélisant la flexion du bras.

a. Matériel à utiliser pour modéliser une flexion ou une extension du bras.

b. Modélisation d'une flexion.

EXPLOITATION

1. Expliquer en quoi la technique de dilacération est bien adaptée à l'observation de ce type de cellules (doc. 1, 2 et 3).

2. Réaliser un croquis de l'articulation du coude et indiquer les caractéristiques permettant de faciliter le mouvement (doc. 4).

3. Réaliser une maquette fonctionnelle permettant de modéliser la flexion et l'extension du membre antérieur (doc. 5). Indiquer

à quoi correspond chacun des éléments du modèle construit par rapport à ce membre.

4. Identifier quelques limites de ce modèle par rapport à la réalité du mouvement concerné (doc. 5).

5. Expliquer le rôle des muscles et des articulations dans la réalisation d'un mouvement (doc. 1 à 4).

Les accidents de l'appareil locomoteur

Nous savons que l'appareil locomoteur permet le mouvement. Il présente cependant une certaine fragilité comme en témoigne la fréquence des accidents (osseux, articulaires et musculaires) dont il est l'objet.



En quoi les accidents musculo-articulaires permettent-ils de comprendre le fonctionnement d'une articulation ?

OBJECTIFS

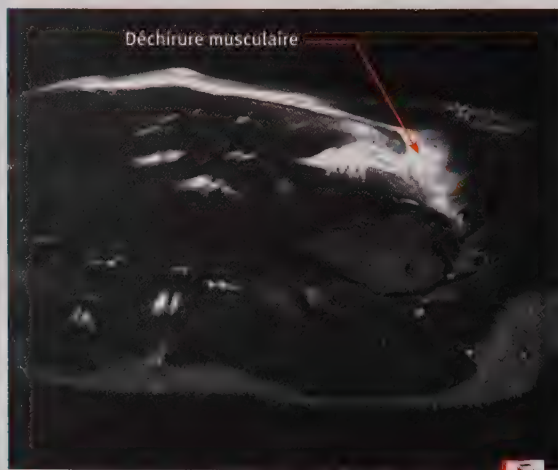
- **Connaissances** : analyser divers accidents affectant les muscles, les os ou les articulations afin de préciser le fonctionnement du système musculo-articulaire.
- **Capacités** : recenser, extraire et organiser des informations.

A Les accidents musculaires

1 Les signes d'un accident musculaire.

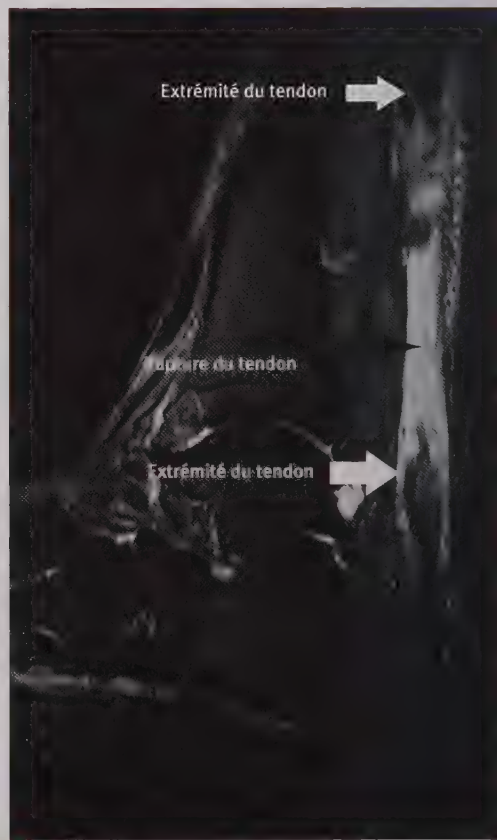


Parfois, lors d'une action brutale, une accélération, un shoot... une douleur intense peut survenir. La personne identifie immédiatement le muscle lésé par la douleur qu'elle ressent. Il s'agit d'un signal d'alerte qui conduit à arrêter l'effort. Par la suite, la réalisation de tout mouvement ou de tout appui au sol peut être douloureuse voire impossible. Il faut alors impérativement suspendre l'activité car une aggravation des lésions est possible. Dans un second temps, la région incriminée peut enfler et une ecchymose peut apparaître.



2 Déchirure musculaire observée à l'IRM (imagerie par résonance magnétique).

La déchirure musculaire, aussi appelée claquage, correspond à l'élongation traumatique d'un muscle et à la lésion d'une ou plusieurs fibres musculaires. Les fibres de part et d'autre de cette zone, auparavant associées, sont maintenant séparées.

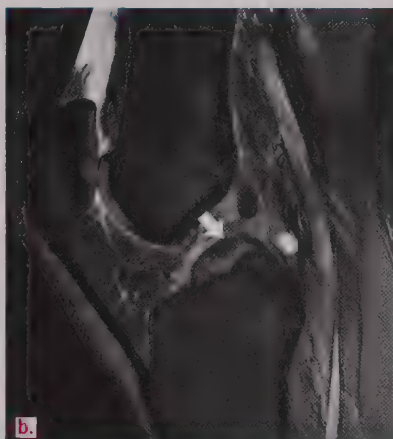
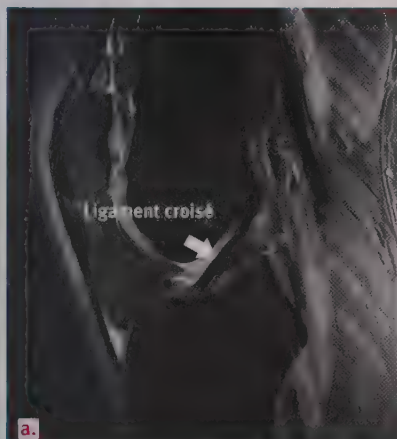


3 Rupture du tendon d'Achille observée à l'IRM (imagerie par résonance magnétique).

En cas de rupture du tendon d'Achille, la transmission des forces exercées par le muscle sur les os du pied n'est plus réalisée. Aucun mouvement n'est alors perceptible.

B

Les accidents articulaires

**4 Une entorse du genou.**

Une entorse est due à un problème affectant un ou plusieurs ligaments d'une articulation.

a. Genou sain. La flèche indique la position du ligament croisé.

b. Une entorse du genou observée à l'IRM (imagerie par résonance magnétique). Cette entorse est due à une déchirure partielle du ligament croisé. Une déchirure complète des ligaments périphériques ou des ligaments croisés est aussi possible, ce qui aggrave l'entorse.

C

Les soins apportés aux blessures sportives

5 Les traitements des blessures musculo-articulaires.

Dans la plupart des cas de blessures musculo-articulaires qui impliquent douleur et oedème, il faut appliquer au plus vite un premier traitement comprenant le repos, l'application de glace, le bandage et la mise en élévation. Ce traitement vise à limiter la douleur et l'inflammation. Lors d'une déchirure musculaire, le muscle doit être mis au repos. Cela peut durer entre 10 jours, pour un simple claquage, à 60 jours, pour une rupture complète du muscle. Dans ce dernier cas, l'immobilisation et une intervention chirurgicale sont nécessaires.

Pour les entorses, la région articulaire enflée est douloureuse. L'immobilisation de l'articulation accélère la guérison. Une intervention chirurgicale peut s'avérer nécessaire si les ligaments ont été rompus. Enfin, les fractures proviennent de chocs ou de mouvements violents qui brisent un os. Si les fragments osseux sont déplacés, le chirurgien doit réduire la fracture, c'est-à-dire remettre en place les pièces osseuses, avant d'immobiliser la partie du corps correspondante jusqu'à ce que l'os se ressoude. Une pièce métallique vissée sur l'os est parfois nécessaire pour maintenir les fragments osseux, elle sera enlevée quelques semaines plus tard lorsque l'os sera consolidé.

**6 Radiographie d'une fracture réduite.**

a. Fracture du péroné signalée par la flèche.

b. Fracture réduite. La flèche indique un cal osseux de réparation.

EXPLOITATION

1. Indiquer les signes qui permettent de diagnostiquer les accidents musculaires (doc. 1 et 3).

2. Quels sont les techniques et les moyens de repérage utilisés pour détecter les accidents de l'appareil locomoteur (doc. 1 à 6) ?

3. Définir le terme d'entorse et montrer que cet accident peut-être plus ou moins grave (doc. 4).

4. Montrer pourquoi l'immobilisation est essentielle pour réparer et soigner la plupart des accidents de l'appareil locomoteur (doc. 5 et 6).

Activité physique et santé

Nous savons que les activités sportives, en dépit de leurs bienfaits en matière de santé, peuvent engendrer des accidents musculo-articulaires.



Comment pratiquer une activité sportive en préservant sa santé ?

OBJECTIFS

- **Connaissances** : comprendre que l'échauffement et la récupération permettent de pratiquer une activité sportive en évitant les blessures. Savoir que le dopage est néfaste à la santé.
- **Capacités** : pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur.



Pratiques à respecter lors d'une activité physique

1 L'échauffement.

L'échauffement permet de limiter le risque de blessure et d'augmenter la performance sportive. Il permet à la fois d'accroître l'apport de dioxygène et de nutriments aux muscles, d'augmenter la plasticité des masses musculaires, de protéger et préparer les articulations ainsi que de réactiver les bons programmes moteurs cérébraux afin de retrouver les bons gestes techniques.

Lors de l'échauffement, la température du muscle augmente, lui permettant de s'allonger et de se raccourcir plus rapidement. Les étirements pratiqués lors de l'échauffement permettent d'accroître la souplesse articulaire et musculaire afin d'autoriser une amplitude maximale des mouvements sans risque.

2 Les étapes d'un programme d'échauffement.

4 à 8 min

Un échauffement général

Un footing léger ou de la course sur tapis roulant ou de la bicyclette ou du rameur.

Fréquence cardiaque : 140-150 battements/min.

4 à 12 min

Un échauffement progressivement plus intense

qui se concentre sur les groupes musculaires particulièrement sollicités. Et toujours les abdominaux.

2 à 3 min

Quelques étirements

maintenus pendant au moins dix secondes chacun.

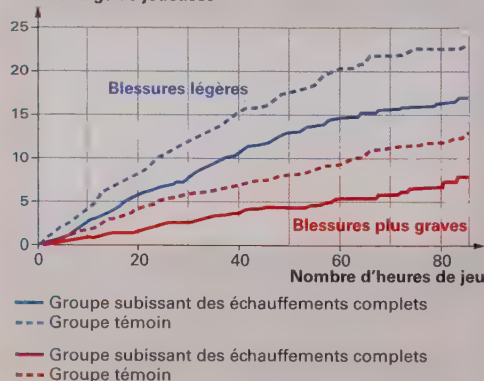
2 à 10 min

Quelques exercices particuliers

qui réveillent les automatismes techniques. (accélération, smash,...).

Durée totale : 12 à 30 min

Pourcentage de joueuses



3 Comparaison des risques de blessures chez de jeunes footballeuses en fonction des échauffements subis sur une saison sportive.

4 Pour devenir plus performant, il faut savoir récupérer.

Il n'est de secret pour aucun athlète que l'amélioration de la performance passe par un dur travail. Cependant, l'entraînement difficile nous blesse et nous fragilise. C'est donc la récupération qui nous rend plus fort. En sport, l'amélioration physiologique n'apparaît que durant la période de récupération qui suit un entraînement difficile. Cette adaptation se caractérise par l'amélioration de l'efficacité du cœur, l'augmentation du nombre de capillaires dans les muscles, l'augmentation du glycogène stocké dans les cellules musculaires. Durant les périodes de récupération, ces systèmes atteignent des niveaux de fonctionnement plus élevés pour compenser le stress qui leur a été imposé. Il en résulte que l'on a maintenant atteint un niveau de performance plus élevé.

D'après *Syndrome de surentraînement*, Pascal Prévost, MCU, université Paris XII.

B Risques associés à une pratique sportive intensive



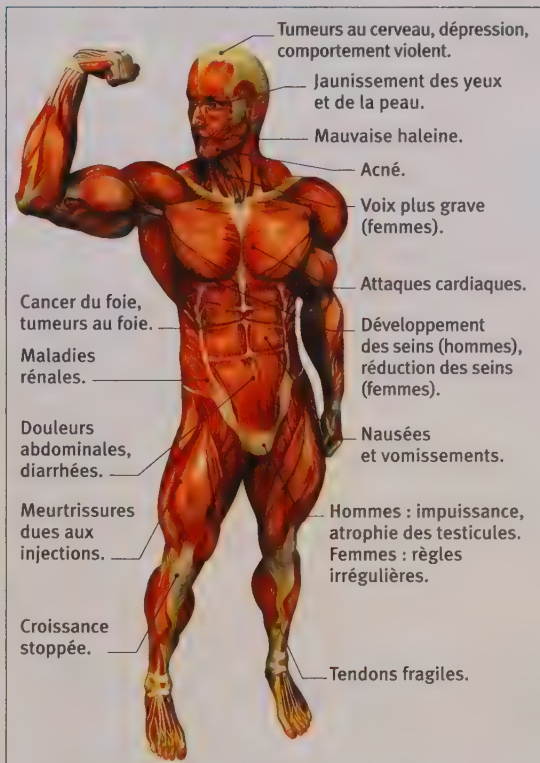
La volonté d'augmenter ses performances ou celle de compenser la fatigue liée au surentraînement peuvent conduire au dopage. Le dopage est la pratique consistant à absorber des substances ou à utiliser des actes médicaux afin d'augmenter artificiellement ses capacités physiques ou mentales.

5 Le dopage aux stéroïdes.

Les stéroïdes anabolisants sont des substances proches ou analogues à la testostérone (hormone sexuelle mâle) responsable entre autres de la croissance des os et des muscles. Ceux-ci sont prescrits sur ordonnance dans des cas très précis (forte dénutrition, ostéoporose...). Aux États-Unis le nombre de consommateurs de stéroïdes ne cesse de croître chez les jeunes. La moitié en prend pour améliorer ses performances sportives, l'autre pour posséder un corps musclé et valoriser son image sociale. Associés à un entraînement régulier, les stéroïdes permettent en effet d'augmenter la force et le volume musculaire. De plus ils réduisent la sensation de fatigue et stimulent l'agressivité.

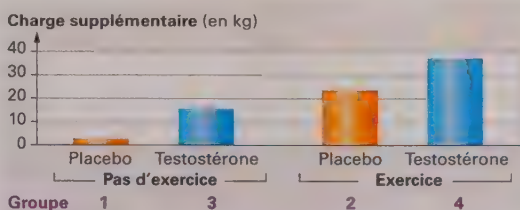
Cependant, la consommation de stéroïdes présente de lourds effets secondaires sur la santé. Elle peut aussi entraîner une suspension à vie des sports de compétition chez les athlètes chez lesquels elle est détectée lors d'un contrôle antidopage.

6 Les effets secondaires de la prise de stéroïdes.



7 Effets de la testostérone sur la force musculaire.

Afin de mesurer les effets de la testostérone sur ces paramètres, on a mesuré, sur 4 groupes de personnes, au bout de 10 semaines, l'augmentation de la force, développée par le quadriceps. Celle-ci est évaluée par la charge supplémentaire en kilogramme portée lors d'exercices de squat. Ceux-ci consistent en une flexion suivie d'une extension des membres inférieurs avec charge. Le premier groupe ne s'entraîne pas et reçoit un placebo* ; le deuxième sous placebo s'entraîne ; le troisième ne s'entraîne pas et reçoit de la testostérone ; le quatrième reçoit de la testostérone et s'entraîne.



VOCABULAIRE

Placebo : produit ayant la même apparence que le produit testé mais ne contenant pas de substances actives.

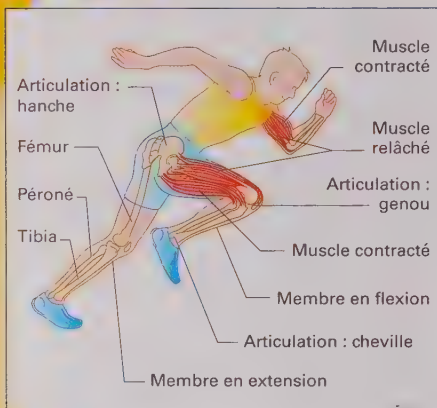
EXPLOITATION

1. Déterminer sur quels organes s'exerce l'action de l'échauffement (doc. 1 et 2).
2. Quelles conclusions peut-on tirer des résultats présentés sur le doc. 3 ?
3. Donner les conditions à respecter pour pratiquer une activité sportive en préservant sa santé (doc. 1 à 4).

4. Expliquer l'intérêt de respecter un bon équilibre entre repos et entraînement (doc. 4).
5. Expliquer en quoi le dopage aux stéroïdes anabolisants correspond à une utilisation thérapeutique détournée (doc. 5).
6. Déterminer quels sont les effets de la testostérone mis en évidence par les doc. 6 et 7.

1

La réalisation du mouvement



1 Les organes du mouvement : les muscles, les articulations et les os.

● Le corps réalise en permanence des **mouvements** au cours desquels les **muscles**, les **os** et les **articulations** fonctionnent ensemble. Les muscles sont rattachés aux os par leurs extrémités, les **tendons** (**activité 1**).

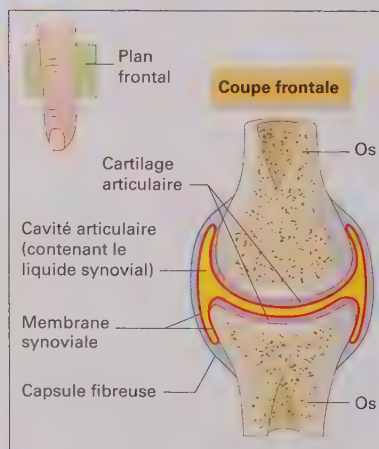
● Les mouvements de flexion et d'extension résultent de l'activité coordonnée de **muscles antagonistes** : lorsque les uns se contractent, les autres se relâchent.

● La **contraction** se traduit en général par un raccourcissement de la longueur du muscle et une augmentation de son diamètre. Cette diminution de longueur a pour effet d'entraîner un mouvement relatif des os auxquels le muscle est relié par ces tendons (**activité 1**).

● Deux os contigus peuvent être associés par des **ligaments** (**activité 2**). Cette liaison qui autorise la mobilité relative des deux os est une **articulation**, structure essentielle dans la réalisation des mouvements.

2

Organisation du muscle et des articulations



2 Organisation d'une articulation.

● Le muscle est composé d'une multitude de **cellules allongées** de très grande taille appelées **fibres musculaires** (**activité 2**). Leur longueur peut varier dans un sens ou l'autre, suite à la réception d'un message nerveux. Elles peuvent donc se contracter (raccourcissement) ou se relâcher (allongement). Comme ces cellules sont accolées les unes aux autres, les variations de longueur à l'échelle cellulaire se traduisent par des variations de longueur à l'échelle de l'organe, le muscle.

● Selon la nature du message nerveux, un nombre plus ou moins important de ces cellules peut se contracter, ce qui permet d'adapter la contraction du muscle au mouvement voulu.

● Au niveau de l'articulation, l'extrémité osseuse est coiffée par un **cartilage articulaire**, substance lisse recouvrant l'os. Le **liquide synovial**, huileux, limite les frottements entre les deux surfaces articulaires. Ces deux particularités facilitent la réalisation des mouvements (**activité 2**).

⇒ (Questions de sciences p. 257)

3

Les accidents de l'appareil locomoteur



3 Cheville enflée en raison d'une entorse.

● Des accidents peuvent se produire, affectant les structures impliquées dans le mouvement (**activité 3**).

● Les **fractures osseuses** sont des ruptures de l'os avec ou sans déplacement. Elles nécessitent une immobilisation du membre concerné et parfois la réassociation des deux fragments osseux à l'aide de broches métalliques. Durant ce temps, du tissu osseux est fabriqué et forme un cal permettant de ressouder les parties séparées par la fracture (**activité 3**).

● Au niveau du muscle, des fibres musculaires peuvent se rompre. La gravité de l'accident dépend du nombre de fibres rompues. Cela peut aller d'un simple **claquage** où seules quelques cellules sont rompues à une **déchirure** complète du muscle. Durant le temps de repos nécessaire, de nouvelles cellules musculaires sont fabriquées, permettant la réparation du muscle. ➡ (**Questions de sciences p. 255**)

● De la même façon, un effort inadéquat peut conduire à une **rupture des tendons**.

● Au niveau des articulations, deux types d'accidents peuvent se produire :

– d'une part les **entorses** qui correspondent à une distension ou à une **rupture des ligaments** consécutive à un étirement trop conséquent ;

– d'autre part les **luxations** où, sous l'effet d'un choc, les os se déboîtent au niveau de l'articulation provoquant les mêmes conséquences, au niveau des ligaments, que les entorses.

Les mouvements deviennent difficiles voire impossibles suite à ces accidents dont la réparation nécessite l'immobilisation et parfois une intervention chirurgicale.

4

Activité physique et santé



4 Les étirements permettent de diminuer les risques d'accidents musculo-articulaires.

● Même si les bénéfices en matière de santé de l'activité physique ne sont plus à démontrer, il importe de suivre certaines recommandations afin de prévenir au mieux des accidents musculo-squelettiques (**activité 4**).

● L'**échauffement** précédant une activité sportive permet entre autres d'augmenter la plasticité des muscles, la souplesse et la résistance des articulations, ce qui contribue à diminuer le risque de blessure tout en permettant une amélioration des performances sportives (**activité 4**).

● Il importe également de respecter un **équilibre entre entraînement et repos**. En effet, c'est durant la phase de repos que des processus physiologiques se mettent en place, permettant d'améliorer l'adaptation à l'effort. Ceci explique les effets **néfastes du surentraînement** (**activité 4**).

● Afin de compenser la fatigue, d'améliorer les capacités physiques, certains ont recours au **dopage**. Ces substances permettent, dans certains cas (exemple des stéroïdes anabolisants), d'augmenter la masse et la force musculaires. Cependant, les risques réels encourus lors de leur utilisation (accidents musculo-articulaires, effets secondaires dangereux pour la santé) en font des substances à proscrire absolument (**activité 4**). ➡ (**Questions de sciences p. 253**)

L'ESSENTIEL À RETENIR

■ Pratiquer une activité physique tout en préservant sa santé

La majorité des **mouvements** font intervenir un couple de **muscles antagonistes** dont la contraction entraîne des effets opposés (flexion et extension par exemple).

Les **muscles** striés squelettiques (muscles permettant le mouvement) et rattachés au squelette par leurs tendons sont constitués de cellules géantes allongées appelées **fibres musculaires**.

La force exercée, lors de la **contraction d'un muscle**, tire sur les tendons et fait jouer une articulation, ce qui conduit à un mouvement.

L'**articulation** est un système emboîté et lubrifié grâce à la présence d'un liquide huileux qui facilite le mouvement relatif des os.

Les muscles striés squelettiques et les articulations constituent un système fragile qui doit être protégé.

Les **accidents musculo-articulaires** s'accompagnent d'une lésion du tissu musculaire, des tendons ou de la structure articulaire.

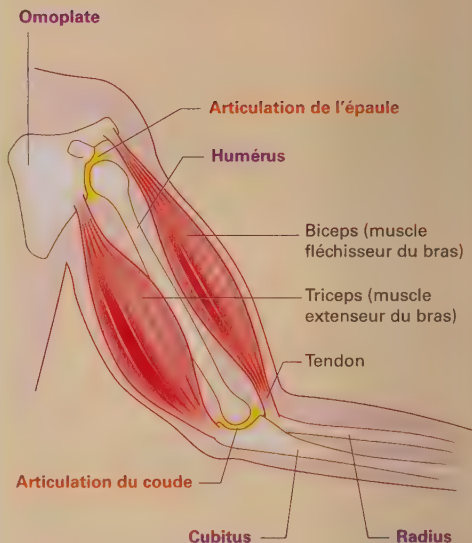
Des **pratiques inadaptées** ou dangereuses (exercice trop intense, dopage, etc.) **augmentent la fragilité** du système musculo-articulaire et peuvent provoquer des accidents.

CAPACITÉS ET ATTITUDES

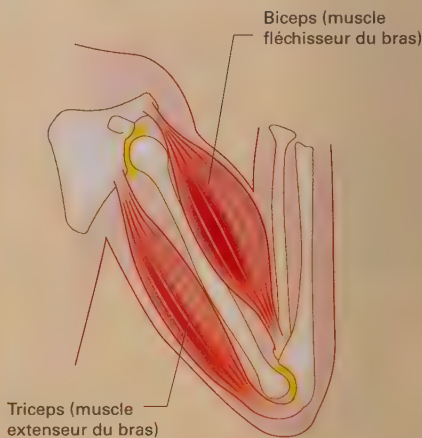
- Manipuler d'après un protocole.
- Pratiquer une démarche scientifique : raisonner avec rigueur ; modéliser.
- Utiliser les technologies de l'information et de la communication.
- Être conscient de sa responsabilité face à la santé.
- Recenser, extraire et organiser des informations.
- Avoir une bonne maîtrise de son corps.

■ La réalisation du mouvement

Mouvement d'extension



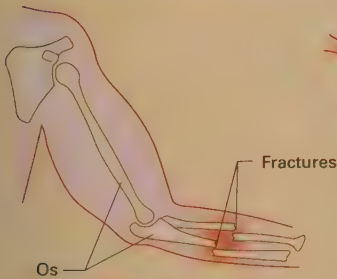
Mouvement de flexion



■ Activité physique et santé

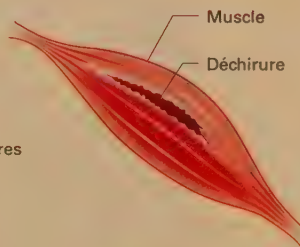


■ Les accidents de l'appareil locomoteur



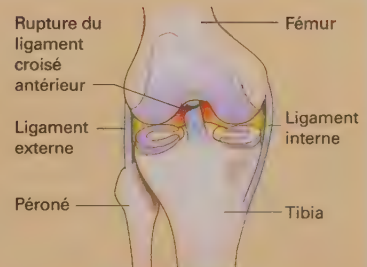
Fracture

Rupture osseuse



Déchirure musculaire

Élongation traumatique d'un muscle conduisant à la rupture d'un nombre plus ou moins important de fibres musculaires.



Entorse

Lésion traumatique d'une articulation résultant d'une distorsion brutale avec étirement (entorse bénigne) ou rupture (entorse grave) des ligaments.

Évaluer ses connaissances

1 Questions à choix multiple

Parmi les affirmations suivantes, indiquer la (ou les) réponse(s) exacte(s).

- a.** Les tendons :
1. correspondent aux extrémités des muscles attachées aux os.
 2. permettent la liaison des os entre eux.
 3. font partie des articulations.
- b.** Les fibres musculaires :
1. ont la possibilité de se contracter.
 2. sont des cellules musculaires.
 3. sont situées à l'extérieur des faisceaux musculaires.

2 Vrai ou faux ?

EXERCICE CORRIGÉ

Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- a.** Un ligament unit un muscle à un os.
- b.** La synovie facilite le glissement des cartilages articulaires.
- c.** Un muscle qui se contracte voit sa longueur augmenter et son diamètre diminuer.
- d.** Deux muscles antagonistes se contractent en même temps pour permettre le mouvement.

3 Définitions

Définir les termes suivants.

- a.** Cartilage articulaire
- b.** Entorse
- c.** Synovie
- d.** Muscles antagonistes
- e.** Claquage
- f.** Fibre musculaire
- g.** Ligament

4 Restitution organisée de connaissances

Répondre aux questions suivantes.

- a.** Expliquer comment un couple de muscles antagonistes provoque un mouvement. Un schéma peut accompagner la réponse.
- b.** Réaliser un schéma de la structure d'une articulation, puis expliquer son fonctionnement.
- c.** Après avoir rappelé quels sont les accidents susceptibles d'affecter l'appareil locomoteur lors d'une activité sportive, expliquer comment ils peuvent être diagnostiqués et soignés.
- d.** Expliquer l'intérêt de l'échauffement avant une pratique sportive.

5 Construction d'une phrase

Communiquer des idées et des données scientifiques

Rédiger une phrase à partir des mots et groupes de mots suivants.

- a.** Glissement, os, articulation, cartilage articulaire.
- b.** Synovie, liquide, frottements, articulation.
- c.** Muscles antagonistes, contraction, relâchement, flexion, extension.

6 Légender un document

EXERCICE CORRIGÉ

Légender la photographie en associant les numéros aux légendes fournies.

- a.** Articulation
- b.** Mouvement de flexion
- c.** Mouvement d'extension
- d.** Muscle extenseur
- e.** Muscle fléchisseur
- f.** Os
- g.** Tendon



Dissection d'une patte de grenouille. Chacune des flèches indique un mouvement.

Analyser des documents

7 Durée et intérêt de l'échauffement

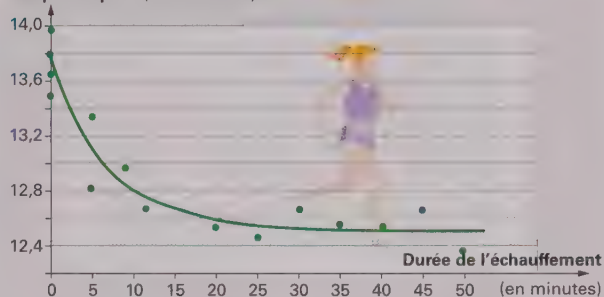
Pratiquer un raisonnement scientifique

EXERCICE CORRIGÉ

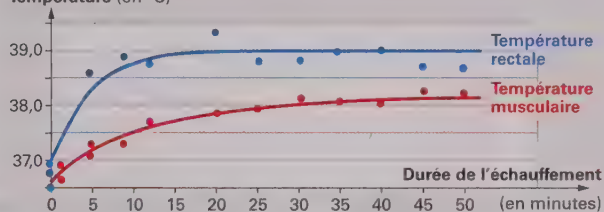
Afin de comprendre les effets et l'intérêt de l'échauffement, un groupe de coureurs subit, avant de faire un 100 mètres, un échauffement dont la durée varie entre 0 et 50 minutes.

- À partir des graphiques, indiquer quels sont les effets de l'échauffement sur l'organisme.
- Montrer que l'échauffement influe sur les performances sportives.
- Évaluer une fourchette de temps permettant d'avoir un échauffement efficace pour ce type d'exercice.

Temps de sprint (en secondes)



Température (en °C)



Temps du sprint et température corporelle en fonction de la durée d'échauffement.

8 Un accident musculo-articulaire

Communiquer des idées et des données scientifiques

Un patient consulte son généraliste à la suite d'une mauvaise réception lors d'un saut. Il se plaint de douleurs vives au niveau de la jambe et de la cheville droite. Le médecin lui recommande de passer une radiographie de la jambe.



Accidents musculo-articulaires au niveau d'un membre inférieur.

- Décrire et nommer les accidents affectant ce patient.
- Indiquer les soins à apporter à chacun des accidents.

9 Le dopage à l'érythropoïétine

Pratiquer un raisonnement scientifique

Les effets de l'érythropoïétine (EPO).

L'érythropoïétine est une hormone normalement produite par les reins. Elle permet d'augmenter l'oxygénation des tissus en augmentant la production de globules rouges. Des études montrent que, pour des sujets entraînés, 6 semaines après la prise d'EPO, la concentration en globules rouges est plus élevée de 10 % et la VO_2 max de 7 %. De plus, le temps au bout duquel ces sujets sont épuisés augmente de 15 % par rapport aux sujets non traités. Aujourd'hui, il est possible de produire cette hormone par génie génétique afin de pouvoir l'administrer à des patients souffrant de déficience rénale.

Des pratiques de dopage utilisent cette hormone. Comme elle est produite naturellement, la tricherie s'avère difficile à déceler. Les effets à long terme de l'érythropoïétine sont difficiles à prévoir, car une fois que l'hormone a pénétré dans l'organisme, il est difficile de prédire quelle quantité de globules rouges sera produite. Le sportif se trouve alors face à un risque majeur d'hyperviscosité sanguine pouvant induire la formation de caillots et être à l'origine d'accidents circulatoires graves.

- Donner une définition du terme dopage.
- Pour quelles raisons l'EPO peut être utilisée comme produit dopant ?
- Montrer que le dopage à l'EPO présente des risques en matière de santé.

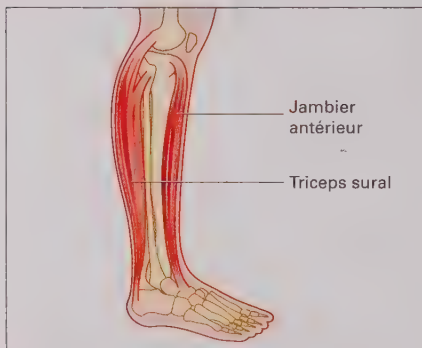
10 La coordination de l'activité musculaire

Pratiquer un raisonnement scientifique

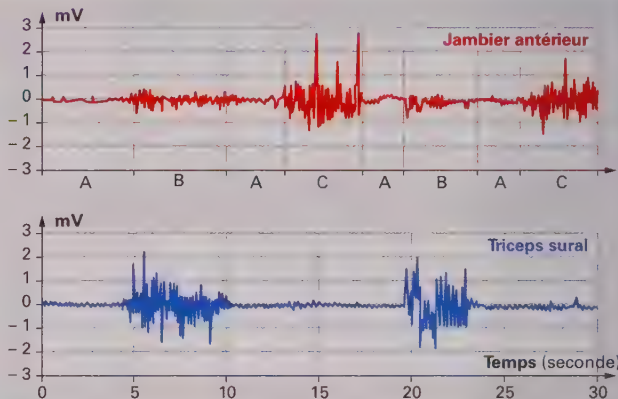


La technique d'électromyographie permet d'enregistrer, par l'intermédiaire d'électrodes placées sur la peau, les courants électriques lors de la contraction d'un muscle.

Après avoir placé des électrodes de manière à enregistrer l'activité des muscles de la jambe sur un sujet, on lui demande d'effectuer des mouvements de flexion et d'extension du pied en ménageant lorsqu'il le souhaite des temps de repos.



1 Les muscles de la jambe.



2 Électromyogrammes : enregistrements de l'activité électrique des muscles antagonistes de la jambe.

- Déterminer quel est le muscle extenseur du pied ; le muscle fléchisseur (doc. 1).
- Quels sont les autres organes nécessaires aux mouvements de flexion et d'extension ?
- Montrer, à l'aide des électromyogrammes (doc. 2), que le jambier antérieur et le triceps sural sont des muscles antagonistes.
- Déterminer quelle est la position du pied, pour les intervalles de temps notés A, B et C (doc. 2).

11 Une maladie des articulations : l'arthrose

Communiquer des idées et des données scientifiques

L'arthrose est la maladie la plus fréquente des articulations. Elle se caractérise par une dégénérescence progressive du cartilage articulaire.



1 Radiographie d'une main non malade.

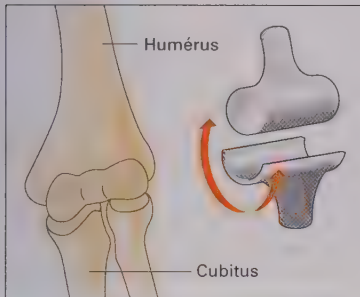


2 Radiographie d'une main atteinte d'arthrose.

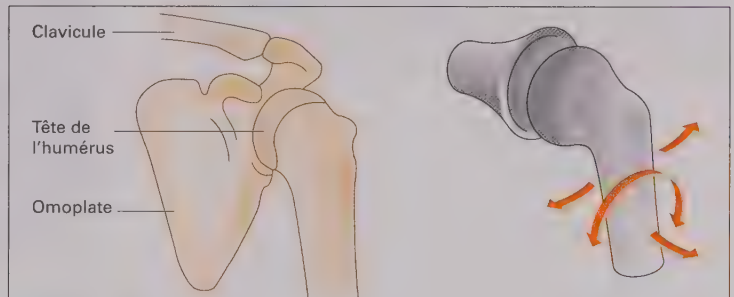
- Rappeler à l'aide d'un schéma l'organisation normale d'une articulation.
- Indiquer les articulations les plus touchées par l'arthrose chez ce malade.
- Expliquer pourquoi les mouvements sont difficiles au niveau de ces articulations.

12 Mouvements et articulations Communiquer des idées et des données scientifiques

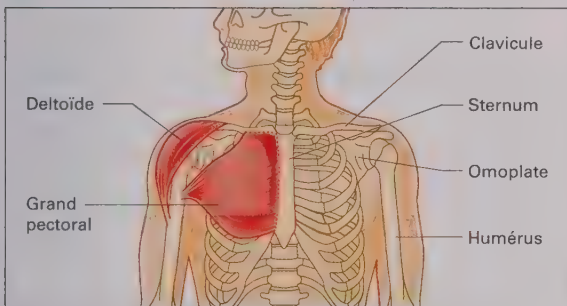
L'épaule est une articulation complexe qui permet un grand nombre de mouvements. Parmi les nombreux mouvements permis par l'épaule, il est possible de maintenir le bras le long du corps et de lever celui-ci à l'horizontale (doc. 1 et 2). Des muscles comme le deltoïde ou le grand pectoral interviennent dans ce mouvement (doc. 3).



1 Articulation du coude.



2 Articulation de l'épaule.



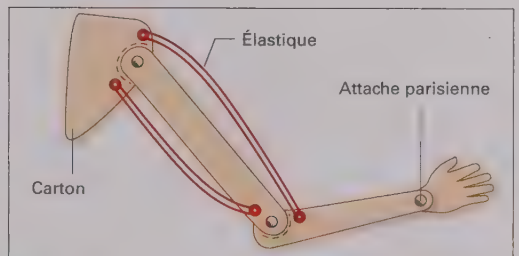
3 Deux muscles participant aux mouvements de l'épaule.

- Quels types de mouvements, impossibles avec le coude, sont réalisables avec l'épaule (doc. 1 et 2) ?
- Expliquer comment les deux muscles représentés dans le document 3 interviennent dans ce mouvement.
- Comment peut-on alors qualifier leur action ?

13 Modèle analogique Pratiquer un raisonnement scientifique

Des élèves ont réalisé une maquette d'un membre supérieur permettant de modéliser les mouvements de flexion et d'extension du bras. Ils ont pour cela utilisé du carton, des attaches parisiennes ainsi que des élastiques.

- Indiquer, par analogie, à quoi correspond chacun des éléments utilisés pour la construction de cette maquette.
- Quels aspects du mouvement ne sont pas illustrés par la maquette présentée ?
- Comment améliorer cette maquette ? Proposer un schéma comportant les modifications à apporter.



Maquette du membre supérieur.

14 Signe permettant de diagnostiquer la rupture du tendon d'Achille Communiquer des idées et des données scientifiques

Le diagnostic de rupture du tendon d'Achille peut se faire par la recherche du signe de Thompson : sur un patient allongé sur le ventre, le pied dans le vide, on presse latéralement la masse musculaire du mollet ce qui entraîne normalement l'extension du pied. En cas de rupture du tendon d'Achille, il n'y a aucune transmission mécanique entre le muscle et la cheville et aucun mouvement n'est alors perceptible.

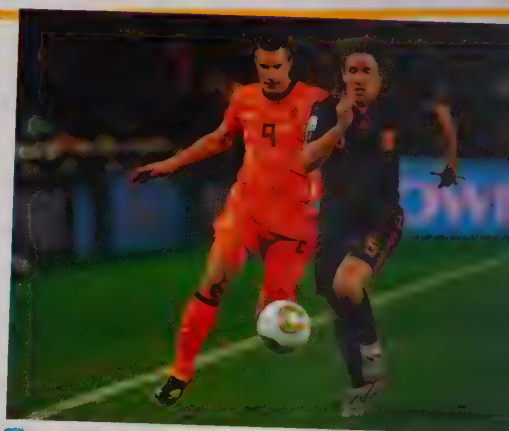
- Expliquer l'extension du pied que l'on observe lorsqu'une pression est exercée sur le muscle du mollet.
- Justifier l'utilisation du signe de Thomson pour diagnostiquer une rupture du tendon d'Achille.

Entraînement, discipline sportive et VO₂ max

Les joueurs de football professionnels couvrent en moyenne 10 km par match : une partie en marchant, une partie en trotinant et une partie en sprintant. L'alternance de ces allures et la répétition des efforts intenses impliquent évidemment de très bonnes qualités aérobies avec des VO₂ max qui oscillent généralement autour de 65 mL · min⁻¹ · kg⁻¹.

■ Le maintien d'une telle forme physique nécessite des sacrifices, faute de quoi on perd le niveau ! La baisse de VO₂ max peut atteindre 4,7 % après seulement 14 jours de repos. Bref, on quitte en juin des joueurs de Ligue 1, on retrouve en juillet une équipe de CFA.

■ Les footballeurs ne sont pas les seuls concernés par le déclin de la forme en vacances. Chez des athlètes de l'élite, on a mesuré une chute de la VO₂ max de 7 % après trois semaines sans entraînement ; la baisse s'est poursuivie jusqu'à atteindre 16 % deux mois plus tard. Après quoi la dégringolade s'arrête.

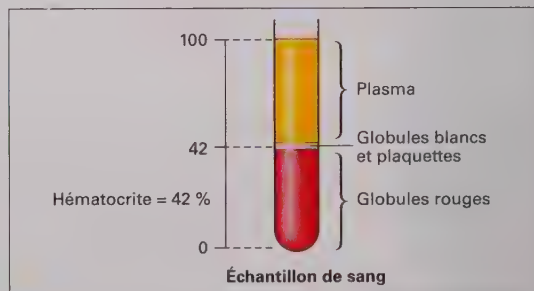


■ Sprint de Carles Puyol et de Robin van Persie lors de la finale de la Coupe du monde 2010, opposant l'Espagne aux Pays-Bas.

Le sportif ne revient donc pas totalement à la case sédentaire. Mais il doit s'attendre à souffrir pour retrouver l'ancien niveau. Et que dire de celui qui reprend la compétition après une longue période d'indisponibilité liée par exemple à la rupture d'un tendon ?

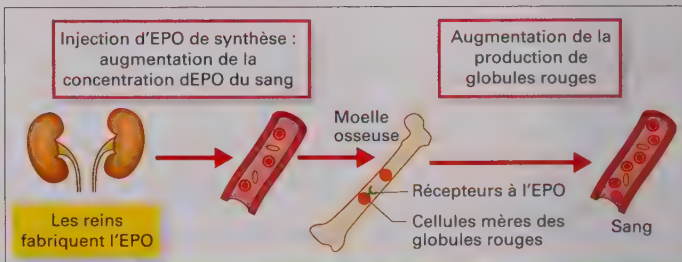
Dopage à l'EPO et VO₂ max

L'EPO est une **hormone naturelle** fabriquée par les reins. Elle agit sur la moelle osseuse en stimulant la fabrication de l'hémoglobine (la molécule qui fixe le dioxygène à l'intérieur des globules rouges) et l'augmentation du nombre de globules rouges. Elle améliore ainsi le transport du dioxygène. Les globules rouges ont une durée de vie de 120 jours. La moelle osseuse doit produire 100 milliards de globules rouges par jour pour compenser ceux qui sont éliminés par le foie et la rate. L'EPO favorise donc la **respiration cellulaire**. Elle est utilisée à des fins dopantes, principalement dans les sports d'endurance, en particulier le cyclisme, la course à pied, le ski de fond...



2 L'hématocrite, rapport entre le volume de globules rouges et le volume de sang. Attention danger ! L'augmentation de l'hématocrite au-delà de 55 % est considérée comme dangereuse. Le sang est plus visqueux, les risques d'obstruction des vaisseaux sont amplifiés. Ne pas dépasser un hématocrite de 55 % reste difficile à maîtriser, car l'hématocrite continue à augmenter pendant 5 à 10 jours après la dernière injection d'EPO.

1 L'EPO, une hormone naturelle qui stimule la production de globules rouges.



SITES À CONSULTER

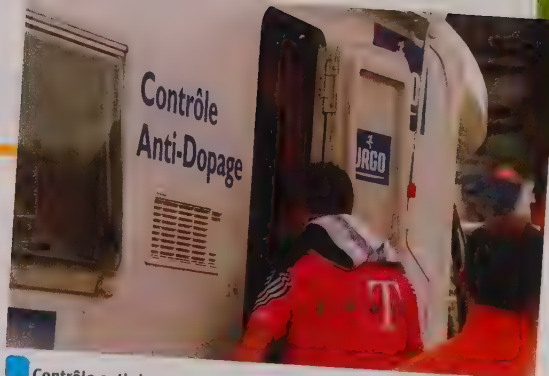
• <http://entraînement-sportif.fr/vo2max.htm>

Un cas de dopage

Paris-Nice 1997, Erwann Menthéour raconte : « Le samedi soir, Jeff d'Hont, le soigneur belge de l'équipe, vérifia **mon taux hématocrite** : 57 %. Une catastrophe. Pour le faire baisser, il m'administra de l'ACTH, censé provoquer de la rétention d'eau. Il semblait parfaitement maître du processus. Le dimanche matin, Marc Madiot est entré en trombe dans la chambre que je partageais avec Franck Bouyer :

– Menthe-à-l'eau, on a tiré le gros lot, t'es au contrôle !
Panique à bord. Il restait une heure avant de me présenter devant ces nouveaux commissaires, déjà baptisés « les vampires ». Jeff d'Hont me fit une perfusion d'eau glucosée, tandis que le médecin de l'équipe, Massimo Testa, m'enlevait du sang, afin de le diluer au maximum. Manœuvre inutile, comme je l'ai appris par la suite, car la rate le redistribue aussitôt. Marc venait de temps en temps surveiller les opérations. Je suis parti au contrôle relativement serein. Je n'aurais pas dû. Résultat sans appel : 58 %.

Théoriquement, j'écopais d'une suspension de quinze jours, comme deux autres coureurs italiens, Antonio Santaromita



Contrôle anti-dopage pour les coureurs du tour de France.

et Luca Colombo. Mais, sous la pression du directeur sportif d'Once, Manolo Saiz, farouchement opposé aux contrôles, les dirigeants de l'UCI ont lâché du lest. Nous avons été autorisés à courir le prologue.

Sur le parcours de reconnaissance, j'ai réalisé un des dix meilleurs temps. Je me sentais rassuré. Glacial, Marc m'a calmé tout de suite :

– Cet après-midi, je ne veux pas te voir dans les quarante premiers, compris ?

Le soir, après une réunion avec les autres directeurs sportifs, il m'a porté le coup de grâce :

– Fais tes valises. Je t'emmène à la gare.

– Pour aller où ?

– Tu rentres à Brest. »

Erwann Menthéour, *Secret défoncé*, Éditions J.-C. Lattès, 1999.

Le « Pirate » est décédé

Le coureur cycliste italien Marco Pantani a été découvert sans vie, sans sa chambre d'hôtel, le 15 février 2004. Il pourrait s'agir d'un suicide, car il était depuis quelques temps brisé psychologiquement et pris en charge dans une clinique spécialisée dans le traitement des maladies nerveuses et les phénomènes dépressifs.

■ Très populaire en Italie, sa fin de carrière fut entachée par de nombreuses affaires de dopage. En 1999, à la suite d'un contrôle sanguin non conforme (taux hématocrite trop élevé, au-delà de 50 %, probablement lié à la prise d'EPO), il était exclu à la veille de l'arrivée d'un Tour d'Italie qu'il avait totalement dominé. En 2001, dans le Giro, après la découverte par la police de seringues douteuses dans sa chambre d'hôtel, il fut de nouveau soupçonné de dopage et condamné à huit mois de suspension dont il avait finalement été acquitté.

■ Comme beaucoup de coureurs, Marco Pantani a probablement ressenti de l'incompréhension tant la « loi du milieu cycliste » est différente de la « Loi ». En effet, dans le jargon des coureurs, on ne parle pas de dopage mais de préparation et de soins. Prisonnier entre l'ivresse d'un sport excessif surmédiatisé



Marco Pantani lors d'une étape du tour d'Italie, en juin 2001.

et des affaires judiciaires liées au dopage, Marco Pantani est sans doute resté l'esclave des produits pharmaceutiques qui l'ont aidé à améliorer ses performances, aidé à camoufler sa déprime, mais surtout amené progressivement vers une issue fatale.

SITES À CONSULTER

- <http://www.irbms.com/>
- <http://www.dopage.com/>
- <http://www.cyclisme-dopage.com>

Activité physique et bénéfices sur la santé



1 Activité physique modérée et régulière pour lutter contre le surpoids.



2 Entraînement dans une salle de fitness.

Les professionnels de la santé estiment qu'une activité physique régulière est associée à une diminution des risques de diabète, d'hypertension artérielle ou de cancer du côlon, ainsi qu'à une diminution de la mortalité cardiovasculaire et de la mortalité toutes causes.

Le bénéfice le plus important s'observe lorsque **l'individu passe d'une sédentarité complète à une activité modérée régulière**. Ce bénéfice est l'une des raisons pour lesquelles les recommandations **destinées à la population générale sont centrées sur l'activité modérée**.

Surpoids et obésité

■ Les études portant sur l'évolution de l'alimentation chez l'adulte comme chez l'enfant montrent toutes **qu'il n'y a aujourd'hui pas d'augmentation des apports énergétiques par rapport à autrefois**. Si le nombre de personnes obèses s'accroît dans la population, il est logique de mettre en cause la sédentarisation des modes de vie contemporains.

■ Un rapport paru en 1979, aux États-Unis, soulignait que, en 1850, un tiers de l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les manufactures et les exploitations agricoles trouvait son origine dans l'activité du muscle humain. La part dans laquelle celle-ci intervient serait aujourd'hui inférieure à 1 %.

Accidents cardiaques

■ Le risque d'accident cardiaque est augmenté dans les heures qui suivent une activité physique. Chez un sujet entraîné, l'augmentation du risque liée à l'activité physique est très faible. Cet effet immédiat de l'exercice physique s'oppose de façon radicale à son effet à long terme, qui est inverse.

■ Une étude réalisée chez des conducteurs de bus londoniens et des poinçonneurs de tickets a permis de comparer deux groupes de sujets qui possédaient les mêmes caractéristiques générales, en particulier de sexe et d'âge, en dehors d'une activité physique plus importante des poinçonneurs de tickets qui montent et descendent les étages du bus. Les résultats montrent que l'incidence des **maladies cardiovasculaires** est deux fois moins importante chez les poinçonneurs de tickets.

Bénéfices sur la santé mentale

■ Une activité pratiquée de manière régulière peut réduire le stress et l'anxiété. De nombreuses personnes signalent une amélioration de leur **état d'humeur** à la suite d'une activité physique appropriée. Cette dernière accroît la relaxation.

■ L'activité physique et sportive a imprégné nos modes de vie. Le « style sport » a envahi les fins de semaine des cadres ainsi que les styles vestimentaires. C'est un **phénomène d'identification et d'intégration** à un groupe dont on partage les gestuelles et la culture par assimilation de ses signes, de son langage, de ses habitudes.

Les blessures du football

La pratique du football présente des risques de traumatismes, de chocs, de chute ou de contacts entre partenaires ou adversaires. Mais que l'on soit footballeur de haut niveau ou simple pratiquant, les blessures sont les mêmes.

Zinedine Zidane : déchirure du quadriceps

Le capitaine de l'équipe de France s'est blessé le 26 mai 2002, lors d'une rencontre amicale contre la Corée du Sud, en match de préparation de la Coupe du monde. Il ressentit une douleur vive à la cuisse gauche due à une déchirure du quadriceps. Cette lésion musculaire est l'une des plus fréquentes dans la pratique du sport et du football. Bien que mal rétabli, Zidane fut tout de même réintégré dans l'équipe de France.

Robert Pires : lésion du ligament croisé antérieur du genou

Le 23 mars 2002, lors d'un quart de finale de la *Cup* en Angleterre, le joueur d'Arsenal effectue un petit saut anodin au-dessus d'un défenseur pour éviter un tacle. En retombant sur sa jambe droite, son genou pivote. Le diagnostic est presque immédiat : il s'agit d'une lésion brutale du ligament croisé antérieur du genou droit.

Le diagnostic est confirmé par une IRM, et le joueur est opéré, devenant indisponible pour la Coupe du Monde de 2002. Les techniques de prise en charge ont évolué, permettant une reprise espérée dans les six mois, ceci au prix d'une rééducation spécifique bien adaptée et souvent effectuée en centre de rééducation du sportif spécialisé.



3 Zinedine Zidane avec un bandage autour de la cuisse lors d'un match de la Coupe du monde en 2002.

Mickaël Landreau : lésion d'un ménisque

Le 11 octobre 2003, le gardien de but de Nantes ressent une douleur vive au niveau du genou. Il s'agit d'une lésion du ménisque, l'accident le plus fréquent chez les footballeurs. Opéré, il pourra très vite reprendre son poste.

Franck Ribéry : pubalgie (douleur au niveau du pubis)

Victime d'une pubalgie en novembre 2009, le joueur du Bayern de Munich devient indisponible pendant plusieurs mois. La pubalgie se traite avant tout par le repos.

C'est à la suite de véritables « épidémies » de pubalgie dans les années 1970-1980 qu'ont été mises en place des méthodes spécifiques de préparation et de gainage (renforcement musculaire du tronc). Franck Ribéry a repris progressivement son niveau de jeu, grâce à une réhabilitation à l'effort permettant un rééquilibrage des différents muscles du bassin.

David Trezeguet : entorse tibio-tarsienne

Victime le 4 juin 2004 d'une entorse tibio-tarsienne à l'entraînement, le joueur de la Juventus de Turin a été tenu à l'écart des terrains suite à ce que l'on peut appeler le « pied du footballeur ». Sous l'effet des chocs lors d'un tacle, des variations de course ou encore des shoots dans le ballon, il peut se produire une répétition de mini entorses provoquant une arthrose (affection d'une articulation) précoce.

Il y a une vingtaine d'années, les entorses fréquentes étaient systématiquement plâtrées, voire opérées. Aujourd'hui, le traitement a totalement évolué avec une prise en charge beaucoup plus dynamique (notamment grâce à une technique dite de « proprioception » permettant de retrouver ses sensations et d'éviter de se retordre le pied) et une tolérance d'instabilité qui évite de nombreuses opérations.



4 David Trezeguet, victime d'une entorse.

SITES À CONSULTER

FRANCE FOOTBALL / MINISTÈRE DE LA SANTÉ / INSTITUT NATIONAL D'ÉPIDÉMIOLOGIE ET DE SANTÉ PUBLIQUE (INVS) / LIGUE NATIONALE DE MÉDECINE DU SPORT (LNMS)

Le malaise vagal



Le joueur de l'équipe de France de football, Bafetimbi Gomis, victime d'un malaise vagal lors d'un entraînement.

La vue du sang, un choc émotionnel, un coup de chaleur... L'apparition de sueurs, une brusque pâleur, des nausées, et parfois, l'évanouissement : c'est le **malaise vagal**. Ce malaise n'a pas de gravité en soi. Le plus souvent, on le sent venir et on a le temps de s'asseoir, afin d'éviter une chute. À quoi est-il dû ? Que faire en attendant les secours ?

■ Le malaise vagal est le fait de perdre connaissance à la suite de la **baisse brutale de la pression artérielle**. Le sang n'arrive plus en quantité suffisante dans le cerveau, les neurones ne reçoivent plus assez de dioxygène, ce qui provoque une perte de connaissance brutale, souvent suivie d'une chute, avec le risque de se faire mal.

■ Le nom de ce malaise vient des **nerfs vagues**. Ces nerfs empêchent le cœur de battre trop vite. Si leur activité augmente, par exemple en cas de stress, ils donnent l'ordre au cœur de ralentir. Or un cœur qui ralentit envoie moins de sang dans les artères : la pression artérielle chute. La personne devient toute pâle : elle ne reçoit pas assez de sang au niveau du visage, elle se sent mal, sa vue se trouble (voile noir devant les yeux). Le temps que l'organisme réagisse, il y a perte de connaissance. La personne redevient consciente au bout de quelques secondes ou de quelques minutes au plus, et ne se souvient pas toujours de sa syncope.

■ Le système nerveux réagit à la chute de la pression artérielle en abaissant l'activité des **nerfs vagues** (cardio-modérateurs) et en augmentant celle des **nerfs sympathiques** (cardio-accélerateurs) : la fréquence cardiaque augmente alors, ce qui fait remonter la pression et permet d'irriguer de nouveau suffisamment le cerveau.

■ Devant un tel malaise, pendant que quelqu'un appelle les secours, **il faut surélever les jambes de la victime**. Le sang remontera plus facilement au cerveau. Quant à la prévention, il faut avoir une pression artérielle suffisante (supérieure à 6-10) pour éviter les baisses brutales, et voir avec son médecin si des analyses s'avèrent nécessaires.

SITES À CONSULTER

• <http://www.bonjour-docteur.com/>

ORGANES ARTIFICIELS

Not just a pump

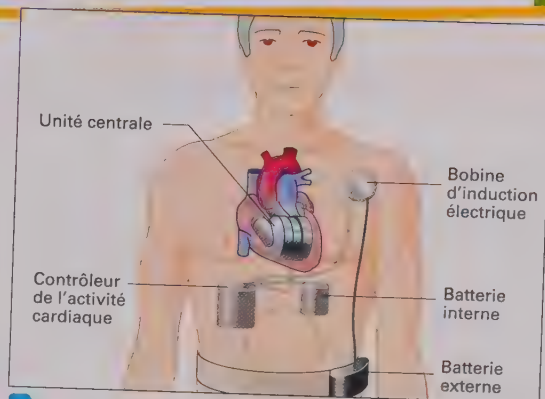
In 1982, Barney Clark became the first recipient of a permanent mechanical heart. "Permanent" is something of a grisly misnomer, because Clark lasted only 112 days. [...] He suffered convulsions, cognitive problems and kidney failure, then died of massive organ failure. The mechanical heart that kept Clark alive for those months was the so-called Jarvik-7, named after its inventor, Robert Jarvik. [...]

William Schroeder, the longest-lived Jarvik-7 recipient, died of a stroke. It was one of the most common risks associated with the early totalheart replacements : fragments of blood cells would stick to the mechanical device, then break off, causing potentially life-threatening clots. [...]

■ Robert Kung has spent his entire career developing a new, improved mechanical heart. As [he] says, "Blood wants to move. It wants to be in motion all the time." And when it moves too sluggishly, it will clot. On the other hand, if it moves too fast, cells can be sheared off and broken, producing debris that can glom up arteries and cause blockages. [...] The AbioCor is made from titanium and a polyurethane blend called Angioflex, which is produced by a secret process that Abiomed claims makes it very pure and slick — much less susceptible to clotting [than the Jarvik-7].

■ The other major killer in the early mechanical heart trials was infection. [...] Instead of piercing the skin, the AbioCor's so-called transcutaneous energy transfer system, or TET, sends the energy across the skin in electromagnetic waves, from an external coil to an electromagnetically coupled internal coil, which in turn powers the heart and charges an internal battery. Eliminating the need for skin-piercing tubes has dramatically reduced complications caused by infection. [...]

by Wray Herbert, *Body*, Scientific American, dec. 2007



■ L'AbioCor.

L'unité centrale est reliée à un contrôleur qui adapte le fonctionnement de ce cœur artificiel au degré d'activité du patient. La bobine d'induction permet de transmettre le courant à travers la peau. La batterie externe peut être enlevée pour être rechargée ou, par exemple, pour permettre de prendre une douche.

Résumé en français

■ Le premier cœur artificiel, le Jarvik-7, a été implanté en 1982 à un patient américain de 61 ans. Celui-ci ne survécut que 112 jours. Les créateurs d'un autre cœur artificiel, l'AbioCor, passèrent la décennie suivante à améliorer la technologie, notamment en tenant mieux compte de la complexité du tissu sanguin. L'un des principaux problèmes des cœurs artificiels était la formation de caillots qui provoquaient l'arrêt du mécanisme. Propulsé trop lentement, le sang coagulait ; propulsé trop rapidement, les cellules sanguines se fragmentaient et des débris s'infiltraient dans le système, provoquant à nouveau son enrayement. Les matériaux de l'AbioCor, plus performants, ont considérablement réduit ce risque. Le risque infectieux a été lui aussi considérablement diminué, car l'AbioCor est alimenté en énergie par un système de transfert ne nécessitant plus de percer la peau.

Vers un bras artificiel ?

Un bras artificiel commandé par la pensée et qui ressemble à s'y méprendre au membre perdu : la prouesse est sur le chemin de la réalisation. Ce bras à huit degrés de liberté avec les doigts (le bras humain, sans les doigts, en a sept) est fixé sur la poitrine et ce sont les propres nerfs de l'homme qui le commandent. L'idée a été émise, et explorée, par Todd A. Kuiken, du *Rehabilitation Institute* (Chicago). Puisqu'une partie des fibres nerveuses qui innervaient le membre amputé sont toujours là, pourquoi ne pas s'en servir pour piloter la prothèse ? La technique consiste à **recupérer les nerfs résiduels** et à les **rediriger** vers la poitrine, l'épaule ou le dos pour les amener juste sous la peau. Là, des capteurs recueillent leur signal électrique lorsque le patient pense à bouger le membre disparu et déclenchent les mouvements.

■ La première expérience a été menée en 2001 sur Jesse Sullivan, qui a perdu les deux bras après une décharge électrique. Capable d'une certaine sensation de toucher grâce à quelques capteurs, cet homme ainsi appareillé peut retirer une carte de crédit de sa poche ou saisir un gobelet de plastique. Sous peu, des capteurs minuscules implantés dans le muscle remplaceront les systèmes actuels, placés sur la peau. L'aspect de la prothèse sera aussi amélioré. L'équipe a réussi à recréer un bras ressemblant au membre amputé en utilisant des photographies de l'homme avant son accident. ...

SITES À CONSULTER

• http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/medecine/d/un-bras-artificiel-pour-2009_10738/

Découvrir des métiers en relation avec l'exercice physique

• **Kinésithérapeute** : Le (la) masseur-kinésithérapeute intervient sur prescription médicale, souvent pour de la rééducation des membres après une entorse, luxation, fracture, ou pour des difficultés respiratoires. Il (elle) étudie le dossier médical (radio, IRM, ...) du patient et peut réaliser des bilans de capacité. Il intervient parfois, sans prescription médicale, dans le domaine sportif ou esthétique. Ce métier nécessite résistance physique, écoute, patience ainsi qu'un bon mental.

Les études

Diplôme d'État de masseur-kinésithérapeute (Bac +2) : après un bac de préférence scientifique, se prépare soit par une première année commune aux études de santé, soit par une année d'école préparatoire au concours d'entrée.

• **Ostéopathe** : Ce spécialiste traite, à l'aide de manipulations très précises des muscles et des articulations, les zones de blocage et les tensions des tissus du corps, qui peuvent entraîner des troubles fonctionnels (douleurs de dos, des articulations, migraines, problèmes respiratoires...). Habileté manuelle, connaissances approfondies en biologie, en psychopathologie, en structure des os, des articulations et des muscles, sont nécessaires.

Les études

Diplôme d'État (depuis 2007, Bac +5) : après la réussite d'un concours pour intégrer l'un des établissements agréés par le ministère de la Santé.

Interview

Chef d'entreprise dans le milieu sportif

Sportive de niveau national (course sur route, trail, bike & run et duathlon), entraînée par Fred Rousson, Agnès Hervé crée en 2009 un magasin d'articles de sport dédié aux coureurs et aux marcheurs : *Team Outdoor*.

Quelles ont été vos motivations pour créer Team Outdoor ?

AH : Me donner corps et âme pour réaliser mes rêves a été ma principale motivation. Je crois en ce que je fais et j'ai toujours souhaité créer mon entreprise. J'ai construit *Team Outdoor* progressivement sur plusieurs années de façon à en assurer la viabilité et la pérennité. Après une première vie professionnelle



dans le milieu scientifique, j'ai acquis des compétences en gestion, commerce et management d'équipe, en travaillant dans une grande enseigne sportive. Côté production j'ai travaillé en tant qu'ingénieur-conception de chaussures running. Je continue la pratique sportive pour comprendre et mieux conseiller, point essentiel à mes yeux.

Les débouchés

- Les **masseurs-kinésithérapeutes** exercent à 80 % à titre libéral dans un cabinet, 20 % travaillent dans le milieu hospitalier. Le vieillissement de la population fait croître le nombre de patients et de départs à la retraite de la profession. Ce métier devrait connaître un bel essor dans les années à venir.
- La majorité des **ostéopathes** exercent à titre libéral dans un cabinet privé. Néanmoins, on constate un nombre d'emplois en hausse dans certains clubs sportifs, dans les maisons de retraite médicalisées, les hôpitaux et les cliniques privées. Cette discipline médicale est en plein essor.
- Le **diététicien** intervient en établissements de santé, dans les collectivités, le secteur libéral, l'industrie agro-alimentaire ou pharmaco-diététique, l'enseignement et le domaine du sport. C'est un métier en train d'évoluer au niveau de ses problématiques et de ses enseignements.

Liens utiles sur le site compagnon.

• **Diététicien(ne)** : Spécialiste de la nutrition, il (elle) s'emploie à proposer des régimes alimentaires adaptés à l'âge, à l'état de santé et au mode de vie des personnes qui le sollicitent. Il éduque à l'hygiène et l'équilibre alimentaires, élabore des menus sur mesure (sans sel, hyperprotidique, enrichi en éléments minéraux...). Il peut aussi travailler pour des structures collectives : élaboration des plats proposés, respect des règles d'hygiène et des quantités.

Les études

Deux formations permettent d'accéder à cette profession : le **BTS Diététique** et un **DUT Génie biologique option diététique, niveau Bac +2**, de préférence après un bac STL, ST2S. La diététique sportive se fait au cours d'une 3^e année de spécialisation.

Avez-vous rencontré des difficultés lors de la création de votre entreprise ?

AH : Le parcours du créateur d'entreprise comme celui du marathonien, est semé d'embûches. Pour autant, à l'instar de l'entraîneur qui aide le coureur à trouver des solutions, un certain nombre d'organismes peuvent être sollicités : la chambre du commerce et de l'industrie, l'ordre des experts comptables... Mes proches et mes amis m'ont apporté leur recul et une aide inconditionnelle.

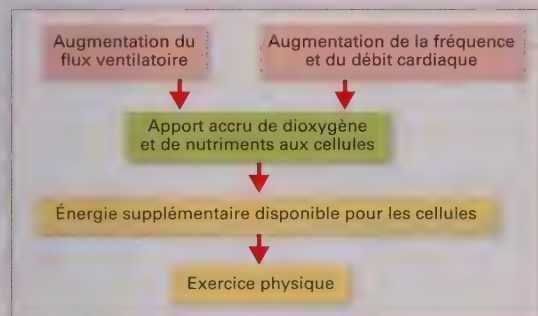
Que vous a apporté d'un point de vue personnel cet engagement ?

AH : Créer mon entreprise, c'est aussi travailler à ma propre construction, faire partager mes idées, ma passion. C'est un moyen d'apprendre, de toujours se remettre en question. En un mot, c'est un moyen de grandir personnellement.

Corps humain et santé : l'exercice physique

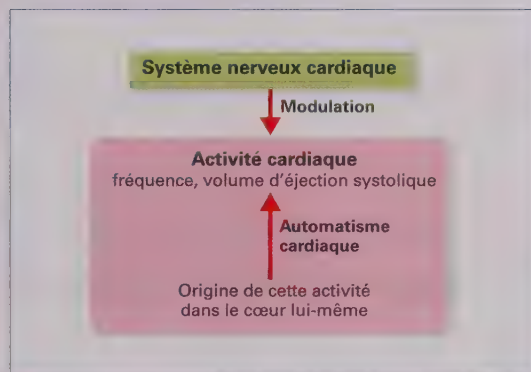
Des modifications physiologiques à l'effort

● Au cours d'un exercice physique, l'énergie supplémentaire nécessaire à sa réalisation s'accompagne d'une consommation accrue de dioxygène et de nutriments par les cellules. La fréquence ventilatoire et le débit cardiaque augmentent, ce qui autorise cet apport supplémentaire aux cellules.



1 Paramètres corporels modifiés au cours d'un exercice physique.

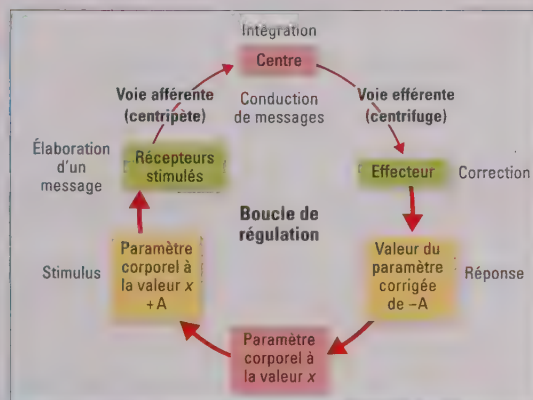
● L'activité cardiaque a son origine dans le cœur lui-même, c'est l'automatisme cardiaque. Dans l'organisme, l'activité cardiaque peut être modulée par le système nerveux, sympathique et parasympathique.



2 Facteurs de l'activité cardiaque.

Une boucle de régulation nerveuse

● La pression artérielle est un paramètre corporel dont la valeur est régulée, maintenue dans d'étroites limites. Lorsque la pression artérielle diminue, un réflexe entraîne l'augmentation de la fréquence cardiaque et, par là-même, celle de la pression artérielle qui retrouve sa valeur d'origine. Une régulation est donc un processus qui tend à maintenir « constante » la valeur d'un paramètre. Toute augmentation de la valeur de ce paramètre est suivie d'une diminution.



3 Principe d'une boucle de régulation.

Pratiquer une activité physique en préservant sa santé

● La réalisation des mouvements fait intervenir les os, les muscles squelettiques et les articulations. Elle repose sur le bon état de ces structures. Se livrer à un exercice

physique dans de bonnes conditions de santé repose sur des règles strictes : pratiquer un échauffement, observer une phase de récupération, ne pas se dopper.

- | | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Construire un graphique | 261 |
| 2 | Créer un diagramme avec un tableur | 262 |
| 3 | Observer au microscope photonique | 263 |
| 4 | Utiliser le logiciel Mesurim pour réaliser une acquisition d'image et un dessin | 264 |
| 5 | Réaliser un dessin d'observation | 266 |
| 6 | Réaliser un schéma | 267 |
| 7 | Réaliser une dissection de souris | 268 |

→ Construire un graphique

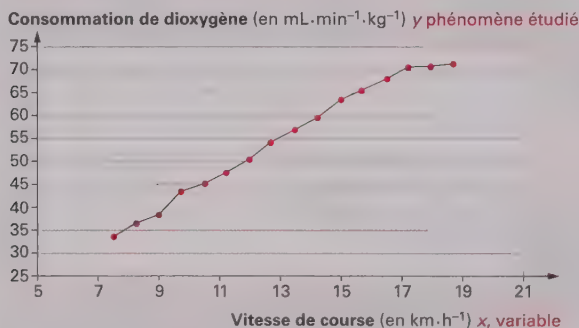
- **Réaliser** un travail soigné, sur papier millimétré, avec un crayon taillé.
- **Tracer les axes** des abscisses (x) et des ordonnées (y) à la règle.
- **Lire** le titre du graphe demandé, pour repérer le **phénomène étudié** (y) que l'on placera en ordonnées et la **variable** (x) que l'on placera en abscisses. La variable correspond à la valeur que l'expérimentateur fait varier.

REMARQUE : Le titre du graphique est généralement exprimé sous la forme « (y) en fonction de (x) » : (y) est le phénomène que l'on étudie.

Exemple : Évolution de la consommation de dioxygène en fonction de la vitesse de course.

La consommation de dioxygène est le phénomène dont on souhaite suivre l'évolution, il sera placé en ordonnées.

La vitesse de course est la variable placée en abscisses.



■ Évolution de la consommation de dioxygène en fonction de la vitesse de course.

- **Légender** aux extrémités des axes :
 - le nom de la variable et son unité,
 - le phénomène mesuré et son unité.
- **Choisir** judicieusement l'échelle de telle sorte que le graphique tienne dans une page ou une demi-page et que les proportions soient équilibrées.
- **Graduer** les axes en utilisant l'échelle choisie et noter les valeurs des graduations.
- **Placer** les points et les relier entre eux (si les points intermédiaires sont significatifs).
- Si on doit **tracer plusieurs courbes** sur le même graphique :
 - les **distinguer** par des couleurs ou des figurés différents,
 - légèder la signification des couleurs.
- **Indiquer le titre** du graphique. Ce titre doit apparaître sous la forme générale « y en fonction de x ».

→ Créer un diagramme avec un tableur

Un tableur (Open Office, Excel) permet de construire :

- un tableau de données,
 - un diagramme (en bâtons, un histogramme, circulaire, etc.).
- On commence par entrer les données.

● Créer un fichier

Double-cliquer sur l'icône du logiciel ou, le logiciel ouvert, menu « Fichier/nouveau ».

● Ouvrir un fichier existant

Rechercher le fichier dans l'arborescence des documents ou, le logiciel ouvert, menu « Fichier/ouvrir » et rechercher le fichier de données.

● Construire et remplir un tableau de données

- **Inscrire** le nom des différentes catégories étudiées dans la colonne de gauche,
- **Utiliser** ensuite autant de colonnes que de données disponibles pour chaque catégorie, puis **compléter** ces colonnes.

	A	B	C	D	E
1					
			Région chromosomique	Région chromosomique	Région chromosomique
2			A	B	C
3		Chêne pédonculé	19	26	20
4		Chêne sessile	18	22	7
5		Chêne pubescent	24	23	16
6					

● Créer un diagramme

- **Sélectionner** la 1^{re} cellule (en haut à gauche du tableau), puis étendre la sélection à l'ensemble du tableau avec la souris, ou au clavier en utilisant les touches du curseur en maintenant la touche « shift » enfoncée.
- **Menu** « Insertion », puis sélectionner « diagramme » (ou graphique) ou cliquer sur l'icône du diagramme souhaité. 

Dans la fenêtre « Assistant de diagramme » :

- « Type de diagramme » : **choisir**  Colonne
- « Plage de données » : **sélectionner** « Première ligne comme étiquette » et « Première colonne comme étiquette »
- « Éléments du diagramme » : **légender** le diagramme en indiquant le titre et le nom des différents axes.

● Mettre en forme le diagramme

- **Double-cliquer** sur le diagramme pour le sélectionner intégralement (sa bordure apparaît sous la forme d'un trait gris épais)
- **Sélectionner** l'élément à mettre en forme à l'aide d'un clic droit ou d'un double clic sur cet élément; puis « propriété de l'objet ».

→ Observer au microscope photonique

● Préparer l'observation

- **Vérifier** que le plus petit objectif (le plus court) est bien enclenché.
- **Eloigner** au maximum la platine des objectifs à l'aide de la vis macrométrique.
- **Placer la préparation microscopique** proprement réalisée (éviter le débord d'eau sous la lamelle et les traces de doigt) sur la platine. La **fixer** avec les valets de la platine.

● Réaliser les réglages au petit grossissement

- Éclairer la préparation :

- à l'aide du **miroir concave**, orienter le faisceau lumineux dans l'axe optique du microscope ;
- en cas d'éclairage **intégré**, régler l'intensité lumineuse jusqu'à obtenir une lumière parfaitement blanche à l'aide du bouton du potentiomètre.

- **Régler la quantité de lumière** d'abord avec le diaphragme, puis avec le condensateur pour affiner la qualité de l'éclairage.

- Faire la mise au point :

- **rapprocher l'objectif de plus faible grossissement** le plus près possible de la préparation, sans regarder dans l'oculaire,
- **faire une première mise au point** avec la vis macrométrique en regardant dans l'oculaire,
- **affiner** la mise au point avec la vis micrométrique.

● Rechercher puis centrer la région la plus favorable de la préparation

Déplacer pour cela la préparation à la main ou à l'aide de la surplatine.

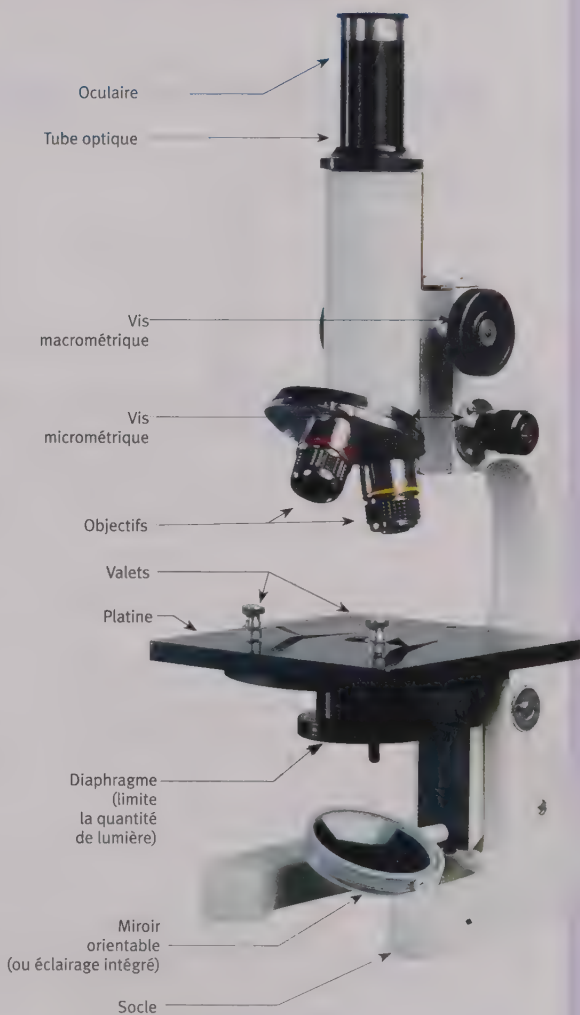
● Choisir l'objectif

- **utiliser** les objectifs dans l'ordre croissant de leur grossissement : moyen puis éventuellement fort grossissement.

● Rechercher puis centrer la région la plus favorable de l'élément

● Ranger le matériel à la fin de l'observation

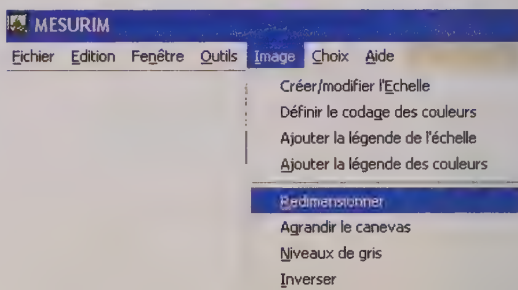
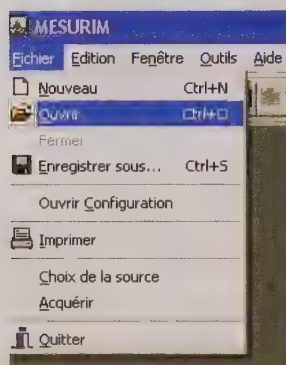
- **enlever la préparation** : pour ne pas risquer de casser la lame, **passer à petit grossissement** puis **baissier la platine** en utilisant la vis macrométrique avant **d'enlever la lame de la platine**.
- **débrancher éventuellement le microscope**.



Attention : afin de ne pas casser la lame, après avoir réglé à petit grossissement, régler à moyen grossissement **grâce à la vis micrométrique** avant de passer à fort grossissement, où le réglage se fait aussi exclusivement **grâce à la vis micrométrique**.



→ Utiliser le logiciel Mesurim pour réaliser une acquisition d'image et un dessin

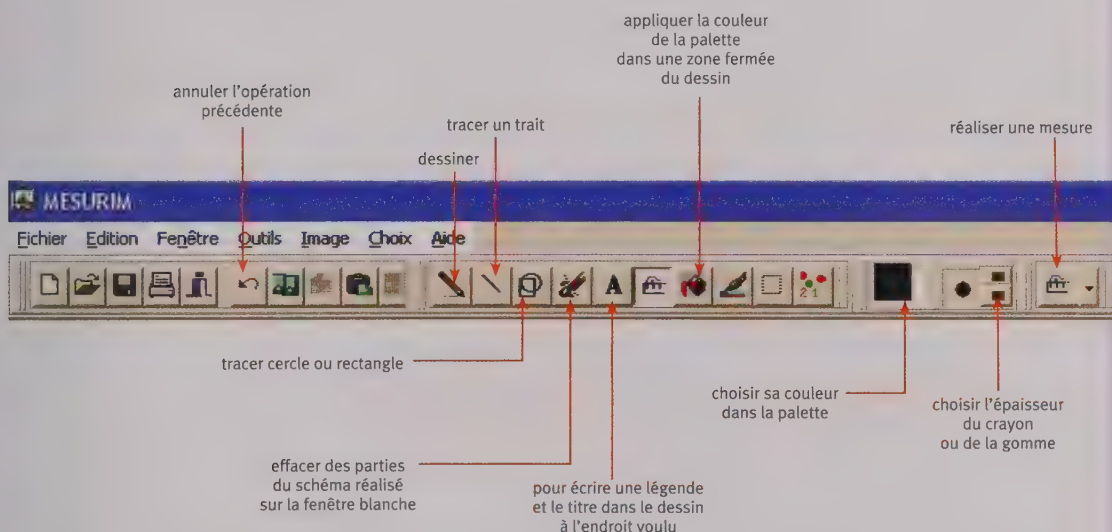


1 Les menus Fichier et Image de Mesurim.

- **Ouvrir un fichier image**
 - Cliquer sur ou menu Fichier/Ouvrir et rechercher dans la boîte de dialogue le fichier sauvegardé dans un dossier.
 - Sélectionner le **menu Image/Redimensionner** si nécessaire et choisir le % de la taille d'origine.
- **Acquérir une image directement à partir de Mesurim**
 - **Menu Fichier/Choix de la source** (doc.1) et dans le menu déroulant cocher le matériel à utiliser (Scanner, Caméra...).
 - **Menu Fichier/Acquérir** : le pilote du dispositif de capture s'affiche à l'écran dans Mesurim. Suivre le protocole d'utilisation de ce matériel à partir de sa propre Fiche technique.
- **Créer une échelle**
 - **Menu Image/Créer/modifier l'Echelle** (doc. 1) et choisir l'échelle à définir.
 - Tracer une ligne avec le curseur de la souris sur une partie de l'image dont la dimension est connue.
 - Reporter en bas dans les cases correspondantes, son unité et sa valeur.
 - **Menu Fichier/Transférer l'échelle**, enregistrer le nom de l'échelle : dans la fenêtre [Nom de l'Echelle] cocher [Ajout temporaire].
 - **Choisir** un nom pertinent (par exemple Gx60) puis valider.
- **Inscrire l'échelle dans l'image**
 - Sélectionner l'image souhaitée.
 - **Menu Image/Créer/modifier l'Echelle** :
 - cocher [Echelle déjà mémorisée] et choisir le nom de l'échelle à utiliser (par exemple Gx60)
 - **Menu Image/Ajouter la légende de l'échelle** (doc. 2) :
 - dans la fenêtre flottante « Disposer la légende », choisir « sur la légende pour la déplacer à la souris » et cocher oui ou non pour la transparence puis valider.
- **Réaliser une mesure**
 - Choisir **mesure courante** dans le menu déroulant.
 - Avec le curseur de la souris, tracer une ligne sur l'objet dont on souhaite déterminer la taille : la dimension de l'objet mesuré apparaît en bas de la fenêtre (il est parfois nécessaire de réduire la fenêtre pour voir apparaître cette mesure dans le bas de l'écran).

● Réaliser un dessin de l'image

- Sélectionner l'image souhaitée.
- **Menu Outils/Schéma** : une fenêtre vierge s'ouvre à droite de l'image.
- **Menu Choix/Tracer sur le document** :
- Suivre, avec le curseur de la souris ou du crayon d'une tablette graphique, les contours pertinents de l'image qui se traceront dans la fenêtre de droite.
- Si le dessin est satisfaisant : le transférer vers Mesurim par **Menu Fichier/Transférer**.
- Si le dessin n'est pas satisfaisant, l'améliorer et le compléter avec les outils de dessin directement sur le transfert (doc. 2).



2 Les outils de dessin de Mesurim.

● Légender une image

- Créer une plage de texte.
- Menu Image/Agrandir le canevas** : dans la fenêtre flottante [Choisir les paramètres] ajouter 200 pixels en Largeur et/ou en Hauteur, cocher la position de l'image dans la plage : [centrer ou aligner haut, bas, gauche, droite]
- Écrire la légende
- avec l'icône texte, saisir la légende dans la fenêtre [Saisie d'un texte], valider;
- la fenêtre [disposer la légende] permet de la déplacer à la souris, et de cocher « oui ou non » pour sa transparence (par exemple pour une légende écrite dans l'image).
- Relier l'objet et sa légende avec l'icône trait.

→ Réaliser un dessin

Représenter :

- en respectant les proportions entre les structures,
- en adaptant le niveau de détails à ce qui est demandé : un dessin est une représentation plus proche du réel que le schéma.

Mettre en page :

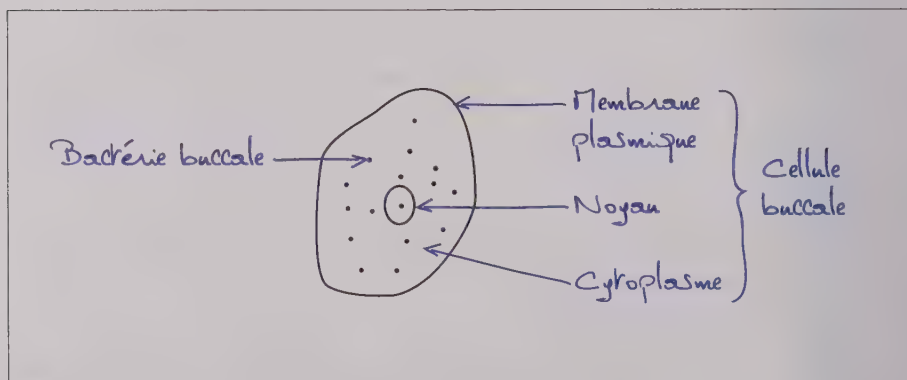
- en centrant sa représentation et en choisissant une échelle adaptée,
- en traçant éventuellement une esquisse légère qui puisse être gommée sans laisser de trace,
- en effectuant un tracé définitif net, fin et continu.

Mettre un titre au dessin :

- en précisant le sujet,
- en précisant le mode d'observation utilisé,
- en déterminant l'échelle ou le grossissement,
- en précisant la coloration éventuelle.

Légender :

- en choisissant des légendes judicieuses,
- en répartissant les légendes agréablement dans la page : sans traverser le dessin ou faire se croiser leurs traits,
- en vérifiant l'orthographe,
- en traçant les traits de rappel à la règle.



- Dessin d'observation microscopique d'une cellule d'épithélium buccal humain et de bactéries buccales observées au fort grossissement (x 400) (montage au bleu de méthylène).**

→ Réaliser un schéma

Le schéma est une construction intellectuelle qui présente des structures et leur mise en relation, ou des mécanismes ; il a une fonction d'explication.

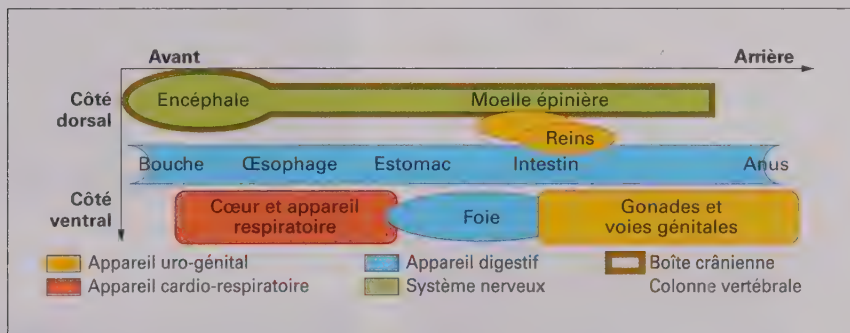
Réaliser un schéma structural

● Préparer son schéma au brouillon

- établir une liste de mots qui représente les structures mises en jeu,
- réfléchir à la disposition relative de ces structures,
- représenter de façon simple et schématique les structures mises en jeu,
- réfléchir aux couleurs utilisables et à leur signification.

● Réaliser le schéma (doc. 1)

- mettre au propre les différents éléments du schéma en soignant la mise en page,
- indiquer une légende précisant le nom des structures et la signification des couleurs,
- mettre un titre qui résume ce que l'on a voulu schématiser.



■ Exemple d'un schéma structural : « Organisation interne d'un Vertébré ».

Réaliser un schéma fonctionnel

● Préparer son schéma au brouillon

- établir une liste de mots qui représente les structures ou mécanismes mis en jeu,
- réfléchir aux relations qui existent entre eux,
- représenter de façon simple les structures et mécanismes mis en jeu (cadres, croquis, ...),
- faire apparaître les relations de causalité par des flèches,
- réfléchir à la disposition des différents éléments du schéma pour imposer un sens de lecture clair et judicieux,
- réfléchir aux couleurs utilisables et à leur signification.

● Réaliser le schéma

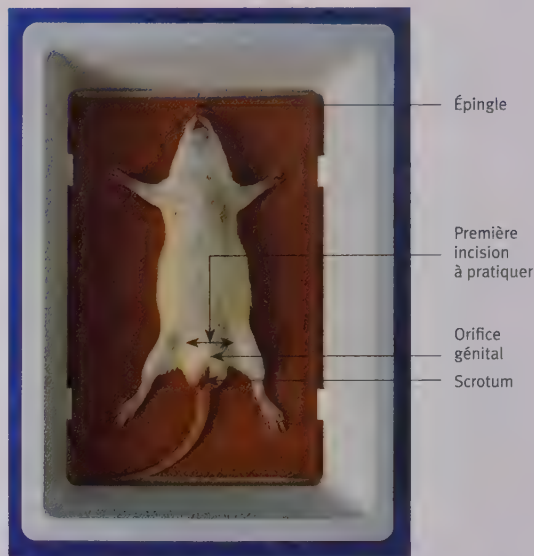
- mettre au propre les différents éléments du schéma en soignant la mise en page,
- noter la légende : signification des couleurs et des figurés (flèche, ...),
- mettre un titre qui résume ce que l'on a voulu schématiser.



→ Réaliser une dissection de souris

Préparer la dissection

- Placer l'animal mort dans la cuvette à dissection, la face dorsale reposant directement au fond de la cuvette (doc.1).
- Épingler les quatre membres en plaçant les épingles en biais, tête dirigée vers l'extérieur.
- Pincer la peau au dessus des organes génitaux externes et **inciser une boutonnière** avec les ciseaux fins (doc. 1).



1 Préparation de la dissection.

Réaliser la dissection de l'abdomen par étapes

1. **Glisser** dans la boutonnière la sonde cannelée de manière à soulever uniquement la peau (doc. 2).
2. - **Inciser la peau**, avec les ciseaux fins, dans le plan de symétrie, en suivant la sonde cannelée; arrêter l'incision à la base de la cage thoracique (doc 3, 1).
- **Inciser** ensuite la peau des pattes antérieures (doc. 3, 2-3) et postérieures (doc.3, 4-5) en se guidant avec la sonde cannelée.



2 Première incision dans le plan de symétrie.

- **Décoller doucement la peau des muscles, et épingler** les volets de peau contre le fond de la cuvette (doc. 4).

3. - Inciser la couche de muscles abdominaux (fine et translucide) selon les positions indiquées (doc. 4) pour voir les viscères.

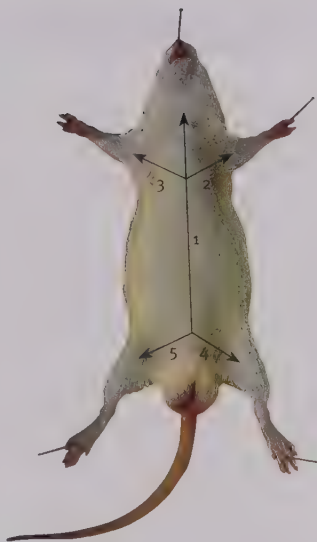
- **Épingler** les volets de peau et de muscles.

- **Observer** les organes en place.

4. Étaler les organes pour identifier les différentes parties de l'appareil digestif : toujours tirer délicatement sur chaque organe sans rien sectionner.

- **Dérouler et basculer** l'intestin sur un côté de l'animal.

- **Identifier** les différents organes de l'appareil digestif, de l'appareil urinaire et de l'appareil reproducteur mâle ou femelle (voir chapitre 2, doc. 1 p. 34).

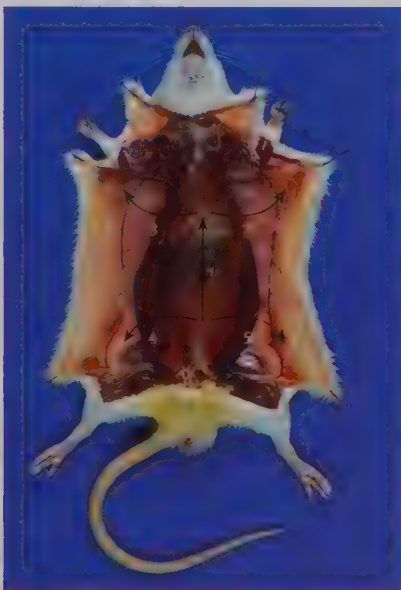


3 Les incisions successives de la peau.

Continuer la dissection au niveau de la cage thoracique.

- **Sectionner** latéralement, à l'aide de ciseaux forts, les côtes et les clavicules en partant du diaphragme.

- **Observer** le cœur et les poumons (voir chapitre 2, doc. 1 p. 34).



4 Position des incisions de la couche de muscles abdominaux.

CORRECTION DES EXERCICES

CHAPITRE 1

1 Questions à choix multiple

a. 1 et 3 ; b. 1 et 2 ; c. 3 ; d. 2.

5 Vrai ou faux ?

a. Faux. D'autres planètes que la Terre possèdent une atmosphère.

b. Vrai.

c. Faux. Mars est une planète tellurique dont la surface est solide.

d. Vrai.

e. Vrai.

12 Établir une synthèse

a. Montrer que la biodiversité peut être étudiée à trois échelles différentes. Illustrer la réponse à l'aide d'exemples.

La biodiversité correspond à la diversité des êtres vivants. Elle peut être étudiée à trois niveaux différents : au niveau des écosystèmes, au niveau des espèces et au niveau d'une même espèce.

À l'échelle du globe, mais également à une échelle plus locale, on peut observer des environnements différents, tels qu'une prairie, une rivière ou une forêt. Chacun constitue un écosystème, c'est-à-dire un ensemble constitué du milieu naturel et de ses occupants, animaux et végétaux en particulier. Cette diversité des écosystèmes constitue la première échelle de la biodiversité.

Au sein d'un même écosystème, nous pouvons déterminer une diversité plus ou moins importante des espèces. Par exemple, une forêt tempérée comme celle du Tronçais est occupée par des espèces végétales comme des chênes, des hêtres, des ronces et des fougères, et par des espèces animales comme

des hiboux, des chevreuils, des chauves-souris, des insectes (lucane ...). Cette diversité des espèces correspond au deuxième niveau de la biodiversité (ce 2^e niveau est également visible en comparant les espèces appartenant à des écosystèmes différents, par exemple, les espèces de la forêt et celles de la rivière). Au sein d'une même espèce, il est également possible de mettre en évidence une diversité génétique. En effet, des études ont montré que des individus appartenant à une même espèce de chêne pouvaient posséder des allèles différents. Cette diversité génétique existe également chez d'autres espèces, comme l'Homme. Ces différences individuelles constituent le troisième niveau de la biodiversité.

Ainsi, nous avons pu mettre en évidence trois niveaux différents de biodiversité.

b. Montrer que la biodiversité varie dans le temps et dans l'espace. Illustrer la réponse à l'aide d'exemples.

La biodiversité, c'est-à-dire la diversité des êtres vivants, est variable au cours du temps mais également spatialement.

L'étude d'environnements très anciens, comme celui d'une forêt du Carbonifère (environ 300 millions d'années) montre que les espèces animales et végétales étaient différentes de celles occupant les environnements forestiers actuels. Au Carbonifère, les fougères étaient très nombreuses ; les plantes à fleurs et les Mammifères n'existaient pas.

À une échelle plus récente, on constate qu'après une glaciation importante qui a pris fin il y a environ 8 000 ans, la température moyenne du globe a augmenté. Ce changement climatique s'est accompagné d'une modification de la biodiversité avec la disparition de certaines espèces comme le mammouth.

Il est également facile de constater, actuellement comme dans le passé, une diversité des espèces dans l'espace : selon les régions du globe, les espèces rencontrées sont différentes. Ainsi, une forêt galerie (forêt localisée le long d'un cours d'eau) ne renferme pas les mêmes espèces animales et végétales qu'un champ ou qu'un parc urbain. Ces différences témoignent de la variété de la biodiversité dans l'espace.

CHAPITRE 2

1 Questions à choix multiple

a. 2 et 4 ; b. 2 et 5 ; c. 1 ; d. 1 et 3.

4 Construction d'une phrase

a. Chez les cellules eucaryotes, l'information génétique est localisée dans le noyau.

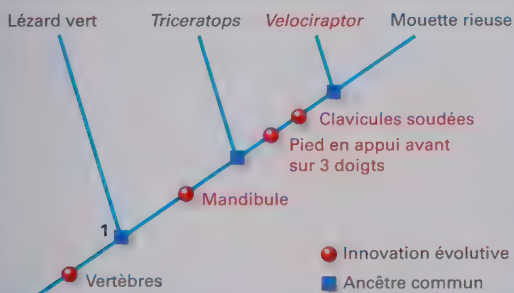
b. Les Vertébrés sont caractérisés par la présence d'une colonne vertébrale constituée de vertèbres situées du côté dorsal de l'organisme.

c. Les Vertébrés sont caractérisés par l'existence d'une symétrie bilatérale et d'un système nerveux situé du côté dorsal.

d. Les cellules constitutives des organismes contiennent de nombreuses molécules qui sont des assemblages d'éléments chimiques.

13 Liens de parenté entre Vertébrés actuels et fossiles

a. et b. Voir le schéma ci-dessous.



Velociraptor possède les innovations « vertèbres », « mandibule », « pied en appui sur 3 doigts » et « clavicules soudées » ; il est donc apparu après ces innovations.

c. L'ancêtre commun 1 possède les innovations apparues avant lui : il possédait donc des vertèbres.

CHAPITRE 3

5 Restitution organisée des connaissances

a. L'ADN est une molécule qui est constituée par l'assemblage de deux chaînes qui s'enroulent l'une autour de l'autre et qui présente une forme en double hélice. Chacun des deux chaînes constitutives de l'ADN est un assemblage de nucléotides. Il existe quatre types de nucléotides : des nucléotides à adénine (A), à thymine (T), à cytosine (C) et à guanine (G). Les deux chaînes sont reliées par des liaisons établies entre nucléotides complémentaires : A est toujours apparié avec T alors que G est toujours apparié avec C. On dit que les deux chaînes sont complémentaires.

À l'intérieur de la molécule d'ADN, c'est la séquence des nucléotides, c'est-à-dire leur succession, qui constitue un message : en effet, le changement d'un seul nucléotide suffit à changer le message.

b. La transgénèse consiste à transférer un fragment d'ADN contenant un gène d'une cellule d'un organisme donneur dans le génome d'un organisme receveur. Cette technique permet de faire acquérir un nouveau caractère à l'organisme receveur. La transgénèse prouve également qu'à l'intérieur des chromosomes la molécule d'ADN est le support de l'information génétique.

c. Le métabolisme cellulaire correspond à l'ensemble des réactions chimiques réalisées par une cellule. Le métabolisme cellulaire est influencé par les facteurs du milieu. Par exemple, la teneur du milieu en dioxygène ou la nature du substrat présent dans le milieu influencent le métabolisme des levures.

d. En absence de dioxygène, les levures fermentent : elles utilisent le substrat présent dans le milieu pour produire de l'énergie. Mais selon la nature du substrat présent dans le milieu, l'intensité de la fermentation est plus ou moins importante. La nature du substrat disponible dans le milieu conditionne donc le métabolisme des levures.

6 Construction d'une phrase

a. L'ADN est une molécule universelle car elle est présente chez tous les êtres vivants.

b. Un gène présente différents allèles qui diffèrent par leur séquence de nucléotides.

c. Un changement de l'information génétique lié à une mutation peut entraîner une modification du métabolisme.

CORRECTION DES EXERCICES

- d. La transgénèse est une technique qui permet de faire un transfert de gène entre individus d'espèces différentes.
- e. Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui ont lieu dans une cellule.

12 Structure et fonction de la molécule d'ADN

Sujet

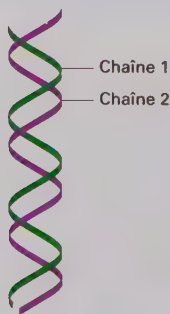
Après avoir présenté la structure de l'ADN, expliquer comment cette molécule est porteuse d'information. Intégrer des schémas à l'exposé, notamment un schéma d'un fragment d'ADN constitué de dix nucléotides.

INTRODUCTION

L'ADN ou acide désoxyribonucléique est une molécule constitutive des chromosomes : il y a une molécule d'ADN par chromosome. C'est cette molécule qui, à l'intérieur des chromosomes, porte l'information génétique qui détermine les caractères des êtres vivants. On va ici présenter la structure de cette molécule, c'est-à-dire son organisation, dans une première partie, et expliquer dans une seconde comment elle est le support de l'information génétique.

LA STRUCTURE DE L'ADN

L'ADN est une molécule qui est constituée par l'assemblage de deux chaînes qui s'enroulent l'une autour de l'autre. Elle présente une forme en double hélice (schéma 1).



1. Structure en double hélice de l'ADN.

Chacune des deux chaînes constitutives de l'ADN est un assemblage de nucléotides. Il existe quatre types de nucléotides : des nucléotides à adénine (A), à thymine (T), à cytosine (C) et à guanine (G). Les deux chaînes sont reliées par des liaisons établies entre nucléotides

complémentaires : A est toujours apparié avec T alors que G est toujours apparié avec C. On dit que les deux chaînes sont complémentaires (schéma 2).



2. Schéma d'un fragment d'ADN composé de dix nucléotides soit cinq par chaîne avec respect de la complémentarité des bases.

L'ADN, UNE MOLÉCULE INFORMATIVE

La transgénèse consiste à transférer un fragment d'ADN contenant un gène d'une cellule d'un organisme donneur dans le génome d'un organisme receveur. Par exemple, l'insertion d'un gène humain dirigeant la production d'hormone de croissance dans une cellule-œuf de souris permet d'obtenir des souris géantes. Elles ont utilisé le gène humain, produit et utilisé cette hormone de croissance humaine. L'organisme receveur, ici la souris, a acquis un nouveau caractère : c'est un organisme génétiquement modifié (OGM) ou organisme transgénique. La transgénèse prouve que, à l'intérieur des chromosomes, la molécule d'ADN est le support de l'information génétique. Un gène est un fragment d'ADN ; il existe des versions différentes d'un gène ou **allèles** qui peuvent ne différer que par un nucléotide et qui pourtant codent pour des caractères différents (schéma 3). Dans l'ADN, c'est donc la séquence des nucléotides qui porte une information.

A	T	T	C	G	G	C	T
T	A	A	G	C	C	G	A

A	T	C	C	G	G	C	T
T	A	G	G	C	C	G	A

3. Exemple de séquences différentes.

CONCLUSION

L'ADN est une macromolécule constituée par l'assemblage de nucléotides. À l'intérieur de cette molécule, c'est la séquence des nucléotides qui porte une information. On peut se demander quels sont les mécanismes qui sont à l'origine de la diversité de l'information portée par l'ADN chez différents êtres vivants.

CHAPITRE 4

6 Questions à choix multiple

a. 1 et 3 ; b. 2 et 3 ; c. 2 ; d. 1 et 2 ; e. 1, 2 et 3.

4 Restitution organisée de connaissances

a. Les nouveaux allèles sont créés grâce aux mutations.

b. La dérive génétique entraîne la disparition ou la fixation de certains allèles ; ainsi, dans une population donnée, sous l'influence de cette dérive la fréquence subit d'importantes variations.

c. L'environnement peut entraîner la survie d'espèces présentant uniquement certains caractères, et donc certains allèles ; ceci peut conduire au mécanisme de spéciation.

d. Les crises biologiques entraînent initialement un effondrement de la biodiversité de par une modification des écosystèmes mais, suite à cette crise, les milieux laissés vacants sont ensuite repeuplés par les espèces survivantes qui subiront alors une grande diversification.

e. La dérive génétique agit sur les effectifs de petite taille, indifféremment de l'environnement, contrairement à la sélection naturelle qui agit, elle, au sein de populations subissant une contrainte au sein de leur environnement.

8 Évolution des allèles au sein d'une population

a. Au sein des grandes populations, on observe qu'elles possèdent toutes, en fin d'expérience, des fréquences pour l'allèle PP équivalentes alors que, dans les petites populations, les variations sont beaucoup plus importantes.

b. Ces différences s'expliquent par l'action de la dérive génétique.

c. Au sein des grandes populations, la dérive génétique qui est liée au caractère aléatoire de la reproduction est moins efficace.

CHAPITRE 5

5 Restitution organisée de connaissances

a. À la surface du globe, l'énergie reçue par unité de surface est différente selon les latitudes. À l'équateur, l'énergie reçue par unité de surface est plus importante qu'aux pôles. Cela crée un gradient thermique ; l'air chaud est moins dense, il s'élève, en altitude il se refroidit et devient plus dense, il redescend. L'énergie solaire engendre une circulation atmosphérique et se trouve convertie en énergie mécanique.

b. Les conditions favorables à la genèse de combustibles fossiles résident dans l'accumulation de matière organique dans un environnement à forte productivité. Cette matière organique est rapidement enfouie et préservée de l'action des décomposeurs. Lors de cet enfouissement, elle subit des conditions « pression-température » spécifiques, de manière lente, et sans oxygène. Ces conditions sont nécessaires à la genèse des combustibles fossiles.

c. La photosynthèse est un processus permettant aux végétaux chlorophylliens de synthétiser leur propre matière organique à partir d'énergie lumineuse et de matières minérales. Ces végétaux constituent le premier maillon des chaînes alimentaires et sont des producteurs primaires. L'énergie solaire est à l'origine du flux de matière, elle-même représentant de l'énergie, qui sera transférée par les consommateurs et les décomposeurs au sein des écosystèmes.

d. Les parties chlorophylliennes des végétaux réalisent la photosynthèse. L'énergie solaire est captée par les pigments chlorophylliens et permet à partir d'eau, de sels minéraux, de CO_2 et de lumière, la synthèse de matière organique. Parallèlement la plante rejette du dioxygène.

7 Raisonnement logique

Il existe un transfert de matière et d'énergie au sein des réseaux trophiques. La photosynthèse permet, en utilisant les matières minérales et l'énergie lumineuse, de fabriquer de la matière organique. Par conséquent, les végétaux sont des producteurs primaires et constituent une biomasse importante. Mais l'énergie solaire peut être fossilisée : la matière organique morte accumulée dans les bassins se transforme lentement en combustibles fossiles. Donc, les combustibles fossiles constituent des ressources énergétiques. De

CORRECTION DES EXERCICES

plus, l'énergie solaire entraîne des mouvements au sein des enveloppes fluides externes.

8 Flux de matière et d'énergie

a. Rajouter des flèches entre : le soleil et le phytoplancton, entre le phytoplancton et le zooplancton, entre le zooplancton et le poisson microphage, entre le poisson microphage et le poisson macrophage et entre les poissons et les oiseaux. Rajouter une flèche aussi entre le phytoplancton et le poisson microphage. Rajouter une flèche aussi entre phytoplancton et matière organique, et entre matière organique et bactéries.

b. Écrire photosynthèse entre le soleil et le phytoplancton et minéralisation entre la matière organique et les sels minéraux (en passant par les bactéries).

c. Voir le tableau ci-dessous.

Niveau trophique	Êtres vivants
I	Phytoplancton
II	Zooplancton
III	Poissons microphages
IV	Poissons macrophages
V	Oiseaux ichthyophages

CHAPITRE 6

2 Vrai ou faux ?

a. Faux, on observe une forte augmentation de la concentration en CO_2 depuis le début de l'ère industrielle.

b. Vrai.

c. Faux. Il est indispensable que cette zone corresponde à une zone de forte production de matière organique et qu'elle dispose d'une roche réservoir.

d. Vrai.

e. Faux. C'est vrai à l'échelle des temps géologiques mais faux sur des échelles de temps plus courtes.

f. Vrai.

5 Construction d'une phrase

a. Une haute productivité en matière organique est une condition nécessaire à la formation d'un gisement au niveau d'un bassin.

b. On observe une répartition inégale entre les régions géologiques susceptibles de posséder des bassins à gisements.

c. L'exploitation économique des gisements a des conséquences sur le cycle du carbone.

d. Les activités humaines entraînent la formation de flux engendrant des perturbations du cycle du carbone.

e. Le cycle du carbone subit des perturbations de par la combustion des roches fossiles et de par la déforestation.

f. Il existe plusieurs exemples d'énergies renouvelables comme l'énergie solaire ou l'énergie éolienne.

9 Dioxyde de carbone et climat

a. On observe que les courbes du CO_2 et de la température sont superposables sur les 400 000 dernières années. Ceci suggère un lien entre les températures et le CO_2 atmosphérique. On observe également un lien entre la température et l'insolation.

b. La brusque élévation de température coïncide parfaitement avec l'augmentation du CO_2 atmosphérique par l'activité humaine.

c. L'homme agit sur les flux de carbone suivants :
– augmentation du flux de carbone vers l'atmosphère par combustion des roches carbonées ;
– diminution du flux de carbone vers la biosphère et augmentation de ce flux vers l'atmosphère via la déforestation qui favorise l'oxydation de la matière organique des sols.

CHAPITRE 7

1 Questions à choix multiple

a. 1 et 2 ; **b.** 1 et 3 ; **c.** 1 et 3 ; **d.** 1 et 3.

5 Trouver les mots clés correspondants aux définitions puis les placer sur la grille.

- a.** Éthanol.
- b.** Biomasse.
- c.** Énergie.
- d.** Agrocarburants.
- e.** Eau.
- f.** Agriculture.
- g.** Concurrence.
- h.** Sol.
- i.** Céréales.

8 Des algues à l'origine d'agrocarburants

a. Exploiter les algocarburants présente des inconvénients : ils ont un impact environnemental négatif car leur production consomme plus d'énergie – participant ainsi à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre – et consomme plus d'eau que les autres sources de biocarburants.

b. Cependant leur culture présente des avantages : contrairement aux agrocarburants, les algues restent une source d'énergie intéressante car elles ne rentrent pas en concurrence avec les cultures agricoles destinées à l'alimentation.

Elles possèdent également des rendements plus élevés que ceux à base de maïs ou de switchgrass. Elles renferment une teneur élevée en lipides. Ces substances, isolées des algues par un processus de raffinage, pourraient conduire à produire des biocarburants capables d'alimenter les véhicules hybrides. Enfin, la production d'algues peut être envisagée dans des bassins aménagés derrière des stations de traitement des eaux usées afin de capter facilement le phosphore et l'azote essentiels pour la croissance d'algues. Ces arguments sont donc en faveur du développement des algocarburants.

CORRECTION DES EXERCICES

CHAPITRE 8

1 Questions à choix multiple

a. 3 ; **b.** 1 et 3 ; **c.** 1 ; **d.** 3.

3 Vrai ou faux ?

a. Vrai.

b. Vrai.

c. Faux. La matière organique présente dans le sol est dégradée en matière minérale.

d. Faux. Le sol est constitué de particules ayant des tailles très hétérogènes.

e. Faux.

f. Vrai.

g. Vrai.

h. Vrai.

i. Vrai.

7 Des expériences montrant le rôle de la macrofaune du sol

a. Dans les deux cas les feuilles de bouleau sont les premières à disparaître alors que les feuilles de hêtre nécessitent plus de temps pour être éliminées. Donc les résultats montrent que la vitesse de disparition des feuilles est fonction de l'arbre.

Par ailleurs, on constate que les feuilles disparaissent plus rapidement avec les filets à mailles de 7 mm qu'avec les filets à mailles de 0,5 mm.

b. On peut donc déduire des résultats précédents que la vitesse de disparition des feuilles est variable suivant l'essence de l'arbre. Cette vitesse pour un arbre donné est toujours plus rapide avec des filets de 7 mm de diamètre laissant passer la macrofaune. Donc l'hypothèse de départ est validée : la macrofaune favorise et accélère la décomposition des feuilles.

c. Étant donné que, dans l'expérience **a**, la litière disparaît plus lentement que dans les filets ne contenant pas de substance répulsive pour les collemboles, on peut déduire que ceux-ci permettent d'accélérer le processus. De même, ce rôle des collemboles est confirmé par l'expérience **b** où, en présence d'un produit répulsif pour les acariens, prédateurs des collemboles, la litière disparaît plus vite.

Enfin l'expérience **c** montre que la litière peut disparaître en absence de microfaune (juste soumise à l'action des champignons et des bactéries) mais cela en cinq fois plus de temps. Donc la microfaune accélère ce processus.

d. La macrofaune semble intervenir, en premier, en fragmentant les feuilles. Cette action est complétée par la microfaune ; la fragmentation de la litière augmente la surface de matière organique et facilite ainsi l'action des bactéries et des champignons.

CHAPITRE 9

1 Questions à choix multiple

a. 1 ; b. 2 et 3 ; c. 1 et 3 ; d. 1 et 3.

2 Vrai ou faux ?

- a. Faux. Le dioxygène est utilisé pour oxyder les nutriments qui sont la source d'énergie des cellules musculaires.
- b. Faux. Une partie de l'énergie consommée par les muscles est dissipée sous forme de chaleur.
- c. Vrai.
- d. Faux. Au repos les muscles consomment du dioxygène mais moins que lorsqu'ils sont en activité.
- e. Faux. Il existe de très faibles réserves de dioxygène dans l'organisme.

9 Effort et consommation de dioxygène

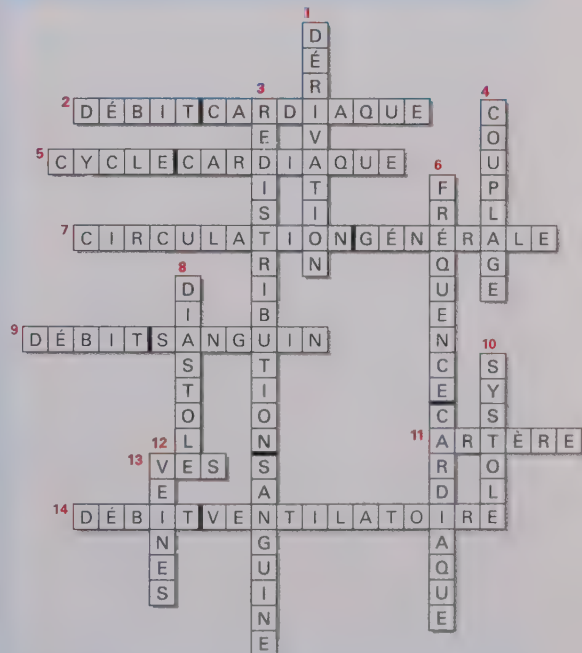
- a. Au repos, le volume courant = 0,45 L et la fréquence ventilatoire = 32 mouvements/minute. Le débit ventilatoire = $0,45 \times 32 = 14,4$ L/minute. À l'effort, le volume courant = 0,8 L et la fréquence ventilatoire = 38 mouvements/minute. Le débit ventilatoire = $0,8 \times 38 = 30,4$ L/minute.
- b. Au repos, la consommation de dioxygène est d'environ 0,45 L en 30 secondes soit 0,9 L/minute. De la même façon, on peut mesurer, qu'à l'effort, la consommation de dioxygène est d'environ 1,3 L/minute.
- c. Au cours de l'effort, le débit ventilatoire et la consommation de dioxygène augmentent.
- d. La consommation d'un litre de dioxygène libère en moyenne 20 kJ. Au repos, cet individu consomme donc $0,9 \times 20 = 18$ kJ en une minute et $1,3 \times 20 = 26$ kJ en une minute à l'effort.
- e. Lors d'un effort, l'augmentation du débit ventilatoire permet d'absorber une plus grande quantité de dioxygène au niveau des poumons. Ce dioxygène supplémentaire permet de libérer une plus grande quantité d'énergie indispensable à l'effort.

CHAPITRE 10

2 Vrai ou faux ?

- a. Faux. Au cours d'un exercice physique, le débit sanguin augmente dans certains organes dont les muscles en activité.
- b. Vrai.
- c. Faux. À partir d'une certaine intensité d'exercice la fréquence cardiaque n'augmente plus.
- d. Vrai.
- e. Vrai.
- f. Vrai.
- g. Vrai.
- h. Vrai.
- i. Vrai.
- j. Faux.

3 Mots croisés



CORRECTION DES EXERCICES

8 Paramètres cardiaques et entraînement

a. Les deux individus ont une fréquence cardiaque maximale de 190 battements par minute.

b. On considère qu'une augmentation de la fréquence cardiaque traduit une augmentation de l'intensité de l'effort. On remarque alors que, chez la personne sédentaire, le volume d'éjection systolique augmente très faiblement puis stagne rapidement quand l'intensité de l'effort augmente. Chez la personne entraînée, le volume d'éjection systolique augmente fortement tant que l'intensité de l'effort augmente.

c. Débit cardiaque maximal (DCmax en L/min) = fréquence cardiaque maximale (battements par minute) x volume d'éjection systolique maximal (L).

Chez la personne sédentaire :

$$DC_{\max} = 190 \times 0,125 = 23,75 \text{ L/min.}$$

Chez la personne entraînée :

$$DC_{\max} = 190 \times 0,185 = 35,15 \text{ L/min.}$$

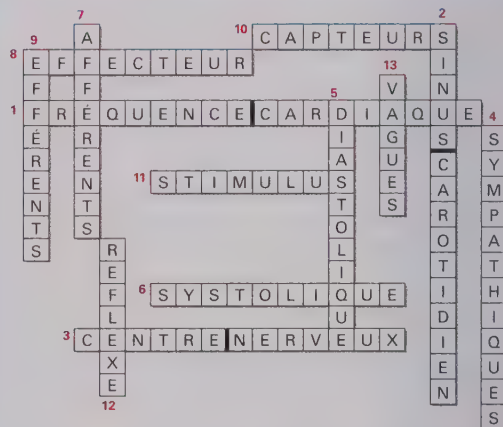
Un débit cardiaque plus élevé permet à la personne entraînée d'avoir une consommation maximale de dioxygène plus importante et donc de produire un effort plus intense que la personne sédentaire.

CHAPITRE 11

1 Questions à choix multiple

a. 2 et 4 ; **b.** 2 ; **c.** 1, 2 et 3 ; **d.** 1 et 3 ; **e.** 1 et 2.

3 Mots croisés



7 Conséquences de sections nerveuses sur la pression artérielle

a. La section des nerfs issus des barorécepteurs carotidiens entraîne une augmentation de la pression artérielle. On sait que ces nerfs stimulent le centre nerveux cardio-modérateur et inhibent le centre cardio-accélérateur. Une section des ces nerfs entraîne donc un arrêt de ces effets. Les nerfs parasympathiques sont moins stimulés au contraire des nerfs sympathiques. La fréquence cardiaque augmente et par conséquent la pression artérielle augmente.

b. L'occlusion des carotides communes entraîne une diminution de la pression artérielle au niveau des sinus carotidiens. D'après le graphe, elle conduit à une augmentation de la pression artérielle dans les artères fémorales.

c. Deux schémas sont présentés ci-après.

CHAPITRE 12

2 Vrai ou faux ?

- a. Faux. Un ligament unit deux os entre eux.
- b. Vrai.
- c. Faux. Un muscle qui se contracte voit sa longueur diminuer et son diamètre augmenter.
- d. Faux. Deux muscles antagonistes se contractent à l'inverse l'un de l'autre pour permettre le mouvement.

6 Légender un document

- a. 5 ; b. 6 ; c. 7 ; d. 3 ; e. 1 ; f. 2 ; g. 4.

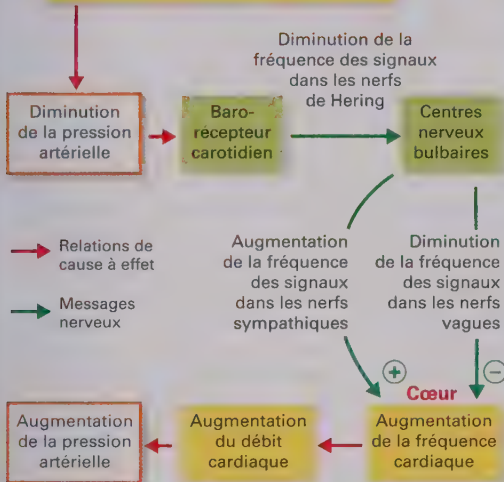
7 Durée et intérêt de l'échauffement

a. Le premier graphique montre que l'échauffement a pour effet de diminuer le temps mis pour effectuer le 100 m.
Le second graphique montre que l'échauffement permet une hausse de la température musculaire et de la température rectale.

b. L'échauffement influe sur les performances sportives en provoquant une augmentation de la température qui a pour effet de diminuer le temps de sprint et donc d'entraîner une augmentation de la vitesse de course.

c. Pour ce type d'exercice, la fourchette de temps permettant d'avoir un échauffement efficace est de 20 à 30 minutes. En effet en dessous de 20 minutes, on constate une augmentation rapide de la température rectale et musculaire, à corrélérer avec une diminution rapide du temps de sprint.
Après 20 minutes, la température rectale est constante et les coureurs, dont on suppose au départ qu'ils ont des performances similaires sur 100 m, mettent 12,6 s en moyenne pour effectuer leur 100 m.
Après 30 minutes, la température musculaire semble à son tour atteindre un palier à 38,1 °C. Le temps de course moyen a diminué faiblement de 12,6 à 12,5 s. Un échauffement d'une durée supérieure à 30 minutes est sans intérêt car il ne permet plus d'augmentation de la température, ni de diminution du temps de course.

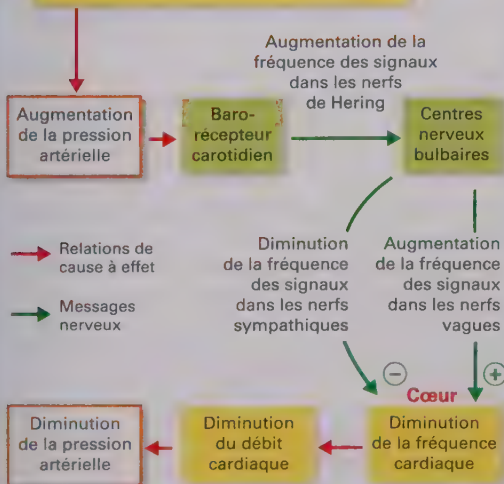
Occlusion des carotides communes



1 Schéma présentant les événements faisant suite à une occlusion des carotides communes.

PA : pression artérielle.

Désocclusion des carotides communes



2 Schéma présentant les événements faisant suite à une désocclusion des carotides communes.

Acide nucléique : molécule organique, comportant essentiellement les éléments C, H, O, N et P, formée par l'association de nucléotides ; l'ADN est un acide nucléique.

ADN ou acide désoxyribonucléique : molécule constitutive des chromosomes qui constitue le support de l'information génétique.

Agrocarburant : carburant produit à partir de matériaux organiques non fossiles provenant de la biomasse.

Allèle : version d'un gène ; un gène peut posséder plusieurs allèles.

Anatomique : relatif à l'organisation interne des êtres vivants.

Ancêtre commun : être vivant hypothétique qui rassemble des attributs légués aux espèces qui en descendent grâce au processus de l'évolution.

Angiosperme : plante à fleurs.

Aorte : artère de diamètre important transportant le sang du ventricule gauche vers les organes.

Arbre phylogénétique (également appelé arbre de parenté ou d'évolution) : représentation qui associe des groupes d'êtres vivants apparentés (c'est-à-dire possédant un ancêtre commun).

Artère : vaisseau transportant le sang du cœur vers les organes.

Astéroïde : corps rocheux ou métallique de petite taille (quelques mètres à plusieurs kilomètres) qui tourne autour du Soleil.

Atmosphère : couche de gaz retenue par gravité autour d'une planète (ou d'un satellite).

Automatisme cardiaque : désigne le fait que le cœur génère lui-même ses propres battements.

Bactérie : être vivant unicellulaire procaryote.

Biodiversité : diversité des êtres vivants qui peuplent notre planète.

Biomasse : masse totale de matière vivante par unité de surface dans un écosystème ou ensemble des substances organiques pouvant devenir des sources d'énergie.

Biosphère : enveloppe de la Terre constituée par l'ensemble des êtres vivants et de leurs milieux de vie.

Capillaire : vaisseau de petit diamètre à travers la paroi duquel se déroulent les échanges entre le sang et les cellules.

Caractère : caractéristique ou attribut porté par un organisme.

Cartilage articulaire : tissu recouvrant les surfaces osseuses en contact dans une articulation.

Cavité générale : partie interne du corps contenant les organes thoraciques et abdominaux.

Cellule : plus petite unité constitutive et fonctionnelle d'un être vivant. Toute cellule est constituée d'un cytoplasme limité par une membrane plasmique et contient une information génétique.

Cellule eucaryote : cellule contenant des organites limités par une membrane.

Cellule nucléée : cellule contenant un noyau.

Cellule procaryote : cellule ne contenant aucun organe limité par une membrane.

Chloroplaste : organe présent chez les cellules chlorophylliennes, lieu de la photosynthèse.

Classification : regroupement des espèces en groupes emboîtés qui traduit leur parenté ; elle est le reflet de l'évolution.

Combustible fossile : matière organique qui a échappé à l'oxydation par les décomposeurs et qui constitue une source d'énergie utilisable par l'Homme (charbons, pétroles, huiles, gaz...).

Comète : amas de glace et de poussières se rapprochant régulièrement du Soleil.

Consommateur : être vivant qui utilise de la matière organique pour se nourrir.

Crise biologique : disparition rapide et massive d'espèces à l'échelle du globe.

Cycle : transformations successives qui passent par plusieurs états avant de revenir à l'état initial.

Cytoplasme : contenu cellulaire limité par la membrane plasmique.

Débit cardiaque : débit sanguin à la sortie du cœur.

Débit sanguin : volume de sang qui parcourt un vaisseau en un temps donné.

Débit ventilatoire : volume d'air qui parcourt une voie aérienne en un temps donné.

Déchirure musculaire ou claquage : lésion d'une ou plusieurs fibres musculaires suite à une elongation traumatique.

Décomposeur : être vivant oxydant la matière organique morte de la litière, jouant un rôle essentiel dans le recyclage des éléments.

Dérive génétique : processus modifiant la fréquence des allèles de façon aléatoire ; elle est d'autant plus efficace que la population est restreinte.

Développement durable : croissance économique qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

Diversité génétique : ensemble des allèles des gènes que possède une espèce.

Dopage : pratique illégale et dangereuse consistant à absorber des substances ou à utiliser des actes médicaux afin d'augmenter artificiellement ses capacités physiques ou mentales.

Écosystème : ensemble constitué par un environnement et les êtres vivants qui l'habitent.

Électronographie : image obtenue à l'aide d'un microscope électronique ; elle permet d'observer l'ultrastructure des cellules.

Énergie renouvelable : énergie exploitable par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. Sa vitesse de formation doit donc être plus grande que sa vitesse d'utilisation.

Entorse : distension des ligaments pouvant aller jusqu'à la rupture, consécutive à un étirement trop violent de ceux-ci.

Érosion : entraînement des constituants du sol par l'eau ou le vent.

Espèce : ensemble d'êtres vivants pouvant se reproduire entre eux et pouvant avoir une descendance fertile.

Éthanol : molécule organique de type alcool.

Étoile : boule de gaz qui brille d'un éclat propre ; le Soleil est une étoile.

Évolution : processus d'apparition de nouvelles espèces à partir d'espèces préexistantes grâce à des modifications du programme génétique au cours des temps géologiques.

Fermentation alcoolique : type de métabolisme permettant à la cellule d'acquérir de l'énergie par transformation du glucose en éthanol et dioxyde de carbone.

Fibre musculaire : cellule musculaire allongée, de très grande taille, possédant la capacité de se contracter et de se relâcher.

Fracture osseuse : rupture de l'os avec ou sans déplacement.

Fréquence cardiaque : nombre de battements cardiaques par unité de temps.

Galaxie : ensemble stellaire constitué par des centaines de milliards d'étoiles et de structures comparables à celles du système solaire.

Gène : unité d'information génétique qui détermine les caractères héréditaires. Un gène correspond à une séquence de nucléotides.

Géosphère : partie minérale de la Terre, servant de support à tous les êtres vivants.

Gisement : lieu où l'on trouve une substance.

Glucide : molécule organique constituée essentiellement de C, H et O et dans laquelle les nombres d'atomes de carbone et d'oxygène sont proches ou égaux.

Horizon : une des strates composant un sol.

Humus : fraction de la matière organique qui reste dans le sol après décomposition de la plus grande partie des débris végétaux et animaux incorporés dans le sol.

Innovation évolutive : apparition, disparition ou transformation d'un caractère au cours de l'évolution.

Lessivage : transport, sous l'effet de l'écoulement des eaux d'infiltration, des éléments d'un sol (argiles, ions) des couches supérieures de celui-ci vers les couches plus profondes.

Levure : champignon unicellulaire.

Ligaments : tissu blanc et fibreux permettant de relier les os entre eux au niveau d'une articulation.

Lipide : molécule organique constituée essentiellement de C, H et O dans laquelle le nombre d'atomes de carbone est très supérieur au nombre d'atomes d'oxygène.

Litière : couche superficielle qui couvre le sol, constituée de matière organique (résidus de végétaux et d'animaux).

Luxation : déboîtement des os au niveau d'une articulation provoquant une distension importante des ligaments.

Macromolécule : molécule constituée par l'assemblage de petites molécules élémentaires.

Membrane plasmique : structure qui délimite le cytoplasme d'une cellule du milieu extracellulaire.

Métabolisme cellulaire : ensemble des réactions chimiques réalisées par une cellule.

Microscope électronique : appareil permettant d'obtenir une image grossie d'un objet traversé (microscope électronique à transmission) ou balayé (microscope électronique à balayage) par un flux d'électrons.

Microscope photonique : dispositif constitué par un ensemble de lentilles qui permet de grossir un objet traversé par de la lumière.

Mitochondrie : organite cellulaire, lieu de la respiration cellulaire.

Moelle épinière : organe du système nerveux central situé dans la colonne vertébrale.

Molécule minérale : molécule qui ne contient pas d'atome de carbone associé à des atomes d'hydrogène.

Molécule organique : molécule construite autour de l'élément carbone pouvant appartenir aux glucides, lipides, protéides ou acides nucléiques.

Morphologique : relatif à l'organisation externe d'une structure.

Muscles antagonistes : muscles ayant une action opposée et participant au même mouvement.

Muscle strié (ou squelettique) : muscle qui, par l'intermédiaire des tendons, est fixé au squelette et permet le mouvement des os.

Mutation : modification de l'information génétique par changement de la séquence des nucléotides de l'ADN.

Nucléotide : unité élémentaire constitutive de l'ADN ; il existe dans l'ADN des nucléotides à thymine, à adénine, à guanine et à cytosine.

OGM (organisme génétiquement modifié ou organisme transgénique) : être vivant ayant intégré dans son génome un gène étranger, c'est-à-dire un fragment d'ADN étranger, et qui l'exprime.

Organite : structure cellulaire spécialisée, éventuellement entourée d'une membrane, localisée dans le cytoplasme d'une cellule.

Parenté : au sens phylogénétique, deux espèces ou groupes sont apparentés s'ils partagent un ancêtre commun.

Paroi : structure présente à l'extérieur de la membrane plasmique des cellules végétales, des cellules des champignons et des bactéries.

Pédogenèse : ensemble des processus de formation d'un sol à partir d'une roche.

Photosynthèse : processus réalisé par les cellules chlorophylliennes qui, grâce à l'énergie lumineuse qu'elles captent, fabriquent leurs composés organiques à partir de substances minérales.

Plan de symétrie bilatérale : surface plane qui sépare le corps en deux parties, droite et gauche, symétriques.

Planète : corps de forme sphérique, de diamètre supérieur à 1 000 km et qui tourne autour d'une étoile.

Planète gazeuse : planète constituée de gaz et présentant une faible densité.

Planète tellurique : planète rocheuse ayant, comme la Terre, une forte densité.

Pluies acides : précipitations qui dégradent, voire détruisent, des écosystèmes. L'acidité de ces retombées a deux origines : naturelle (émissions volcaniques, feux de forêts...) et principalement anthropique (industrie, chauffage, circulation automobile...).

Pluricellulaire : se dit d'un organisme constitué de plusieurs cellules.

Polarité antéro-postérieure : organisation des structures d'un organisme selon un axe qui va de l'avant vers l'arrière.

Polarité dorso-ventrale : organisation des structures d'un organisme selon un axe qui va de la face dorsale vers la face ventrale.

Producteur primaire : être vivant, capable de réaliser la photosynthèse, placé au début d'un réseau trophique.

Protide : molécule organique constituée essentiellement de C, H, O et N.

Réflexe : réponse d'un organisme indépendante de la volonté ; ce processus fait intervenir cinq composants.

Régulation : processus dans lequel toute variation d'un paramètre dans un sens provoque une variation opposée, ce qui permet de maintenir « constante » la valeur de ce paramètre.

Respiration : type de métabolisme au cours duquel la dégradation de molécules organiques en présence de dioxygène produit de l'énergie et des déchets (eau et dioxyde de carbone).

Roche-mère : roche à partir de laquelle se constitue la fraction minérale d'un sol.

Saccharose : molécule organique de la famille des glucides.

Satellite : corps en orbite autour d'une planète ; la Lune est le satellite de la Terre.

Séquence : suite ou enchaînement précis de molécules élémentaires au sein d'une macromolécule.

Sol : couche superficielle de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche-mère, enrichie par des apports organiques.

Spéciation : processus conduisant à la formation de nouvelles espèces.

Substrat : molécule impliquée dans une réaction en tant que réactif.

Synovie : liquide huileux produit par les cellules de la membrane synoviale au niveau d'une articulation. Elle facilite le glissement des cartilages articulaires tout en évitant leur usure, en limitant les frottements.

Taxon : groupe d'êtres vivants (espèce, genre, famille, ordre...) qui possède un même ancêtre commun.

Tendon : extrémité du muscle attachée à l'os.

Transgenèse : transfert de gène d'un organisme donneur à un organisme receveur.

Ultrastructure cellulaire : constituant microscopique des cellules, visible uniquement en microscopie électronique.

Unicellulaire : se dit d'un organisme constitué d'une seule cellule.

Valve ou valvule : structure cardiaque qui impose le sens de circulation du sang dans le cœur.

Veine : vaisseau qui conduit le sang des organes vers le cœur.

A

Accidents musculo-articulaires 241, 245, 246, 247, 249, 255
 Accidents musculaires 240
 Acides nucléiques 41
 Acidification 157
 ADN 50, 51, 58, 62, 63, 64, 92
 Afférent 221
 Agriculture 138, 139, 142, 144, 172
 Agrocaburant 135, 136, 140, 147, 148
 Algocaburant 148
 Allèle 17, 61, 85
 Altération 152, 154, 158, 160
 Ancêtre commun 33, 42
 Aral (mer) 149
 Arbre phylogénétique 33, 49
 Arène granitique 154
 Argile 154
 Artère 200
 Artère coronaire 204
 Articulation 239, 244, 246, 251
 Associations végétales 27
 Astéroïdes 14
 Atmosphère 108
 Attribut 32
 Automatisation cardiaque 218, 224

B

Bactérie 39
 Barorécepteur 221
 Baroréflexe 221, 226, 259
 Bassin sédimentaire 120
 Biodiversité 16, 22, 23, 24, 79, 88, 89, 94
 Biomasse 100, 105, 136, 137, 142, 144
 Bocage 157
 Boucle de régulation 223, 229, 259
 Bout central (d'un nerf) 219
 Bout périphérique (d'un nerf) 219
 Bulbe rachidien 219

C

Caractère 32
 Cavité générale 34
 Cellule 36, 37, 42, 44, 47
 Cellule de convection atmosphérique 108
 Cellule eucaryote 42, 44
 Cellule procaryote 43, 44
 Centre cardio-accélérateur 224

Centre cardio-modérateur 224

Changements climatiques 27
 Charbons 111, 112, 116
 Chromatographie 103
 Circuit en parallèle 201, 212
 Circuit en série 201, 212
 Circulation générale 200
 Circulation pulmonaire 200
 Circulation sanguine 200, 206, 207, 208
 Climat 124, 128, 132
 Cœur 196, 206, 208, 257
 Combustible fossile 106, 111, 112, 116
 Comète 14
 Compaction 157
 Composition chimique 40
 Concurrence 144
 Consommateurs 104
 Contraction 236
 Coude 239
 Crise biologique 78, 81, 82, 86
 Cyanobactéries 12
 Cycle de l'eau 109
 Cycle du carbone 122, 123, 127, 128, 132
 Cycle cardiaque 196, 206, 208, 211
 Cycle ventilatoire 181
 Cytoplasme 36, 37

D

Darwin 90
 Débit cardiaque 197, 199, 206, 207, 208
 Débit sanguin 201, 203
 Débit ventilatoire 180, 181, 186, 188, 202
 Déchirure musculaire 240
 Décomposeurs 104
 Défibrillateur 205
 Déforestation 123, 135
 Dépense énergétique 181
 Dérive génétique 74, 77, 80, 82
 Désagrégation 154
 Diastole 197
 Dioxyde de carbone 103, 119, 122, 124, 126, 128, 132
 Dioxygène 180, 181, 182, 186, 188, 191
 Diversité génétique 72, 80, 82, 85
 Dopage 243, 252, 253
 Double circulation 200, 202

E

Eau 40, 139, 140, 141
 Eau de chaux 54
 Eau iodée 102, 103
 Échauffement 242, 249
 Écosystème 16, 17, 104, 115
 Effecteur 221
 Efférent 221
 Électrocardiogramme (ECG) 205, 217, 231
 Électrophorèse 57
 Éléments chimiques 31, 40, 44
 Élodées 67
 Empreinte génétique 61
 Énergie 52, 100, 101, 178, 186
 Énergie éolienne 133
 Énergie fossile 106, 126
 Énergie lumineuse 102
 Énergies renouvelables 125, 127, 128, 136
 Énergie solaire 109
 Entorse 241
 Entraînement 213, 245
 Enveloppes fluides de la terre 101, 108, 111, 112
 EPO 253
 Érosion 157
 Espèce 17, 89
 Éthanol 54
 Évolution 70, 79, 94, 95

F

Faisceau musculaire 238
 Fermentation 50, 62
 Fermentation alcoolique 54
 Fibre musculaire 238
 Forêt houillère 18
 Fréquence allélique 73, 75
 Fréquence cardiaque 197, 198, 217
 Fréquence ventilatoire 181

G

Géotherme 107
 Gisement 106, 120, 131
 Glucides 41, 43
 Glucose 52
 Glycogène 184
 Greffe cardiaque 231
 Groupes emboîtés 33
 Guépard 29

H

Habitabilité 15
Héliostats 119
Horizons (d'un sol) 152
Humus 152, 153
Hypertension 215

I

Infarctus 203
Information génétique 50, 56
Innovation 33

L

Lessivage 155
Levure 39, 52, 53, 54, 55
Lipides 41, 43
Litière 152, 154

M

Mammouth 13, 19
Masse corporelle 184
Membrane plasmique 36, 37
Message 60
Métabolisme 50, 62, 64, 67
Minéraux argileux 154
Mitochondries 53
Molécules minérales 41, 44
Molécules organiques 41, 44
Mouvement 236, 244, 246
Mouvement d'extension 237, 239
Mouvement de flexion 237, 239
Muscle 236
Mutation 53, 60, 72, 80, 82

N

Nerf parasympathique 219
Nerf sympathique 219
Nerf vague 219
Noyau 36, 37
Nucléotides 58, 64
Nutriments 183, 200, 207

O

Obésité 179, 184, 187, 188, 254
OGM 68, 69
Organite 38

P

Parenté 33, 43, 49
Pédogenèse 155
Pétrole 106, 126, 168, 169
Photosynthèse 102, 110, 112
Phytoplancton 115
Placebo 243
Planète gazeuse 14, 15, 22
Planète rocheuse 14, 15, 22, 24
Planète tellurique 14, 15, 22, 24
Pluies acides 157
Polarité antéro-postérieure 32
Polarité dorso-ventrale 42
Population 73
Pression artérielle 216, 222, 224, 256, 259
Pression atmosphérique 108
Producteurs primaires 104
Productivité 105, 107, 110, 112, 115
Prospection 120
Protides 41, 43
Pyrale du maïs 68, 69

R

Racines 165
Radiation évolutive 79
Récupération 242
Réflexe 221
Régulation 223, 225, 226, 229, 259
Relâchement 236
Réponse 221
Reptiles marins 29
Réseau trophique 104, 110, 112
Réserves 184
Respiration 50, 52, 62, 186, 188
Roches carbonées 111, 112

S

Sables bitumineux 131
Sang 214

Santé 184, 234, 240, 242, 254
Sélection naturelle 76, 80, 82, 86
Séquence 60, 61, 63, 64
Sinus carotidien 220, 232, 233
Sol 150, 152, 158, 160, 166, 167, 172
Spéciation 76, 80, 82, 87
Squelette 32
Steppe herbeuse 19
Stéroïdes 243
Stimulus 221
Stromatolithes 12,
Substrat 54, 185
Systole 197

T

Taxon 18
Tendon d'Achille 240, 251
Test d'effort 182
Testostérone 243
Thon rouge 20
Transgénèse 56, 62, 64, 91

U

Ultrastructure 38

V

Valvules 196
Veine 200
Vents 108
Vertébrés 34, 42, 48, 49
VO₂ 183
VO₂ max 182, 183, 187, 188, 192, 193, 252
Volume courant 181
Volume d'éjection systolique (VES) 197, 199

Z

Zone habitable 15
Zones humides 28

REMERCIEMENTS

Les auteurs et les Éditions Hatier remercient pour leur aimable collaboration :

- Christine et Michel Denis-Huot, photographes animaliers, ainsi que Yann Métrich, de Biosphoto ;
- Marc Lafosse et Jérôme Cougoul, respectivement président et directeur général de « Energie de la Lune » ;
- Agnès Hervé directrice de « Team Outdoor » ;
- Olivier Lepais (INRA – Université de Bordeaux – UMR BIOGECO) ;
- Brigitte Meunier (CNRS – Centre de Génétique moléculaire) ;
- Isabelle Bourdin, du Lycée Gustave Eiffel à Bordeaux (33) ;
- Patrick Ruiz, du Lycée Pape Clément à Pessac (33),

ainsi que :

- La direction du Lycée Dumont d'Urville à Maurepas (78) et l'ensemble de son personnel du laboratoire des sciences de la vie et de la Terre pour leur accueil et leur aimable collaboration.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

o8-h	ph © B.N.F., Paris	31-4	© CERIMES / www.sciences.gouv.fr
o8-b	© Casterman	32-1a	ph © J.-L. Klein & M.-L. Hubert / Biosphoto
o9-g	ph © Aisa / Leemage	32-1b	ph © Hervé Conge
o9-d	ph © Marco Cristofori / Age Fotostock	32-1c	ph © François Gilson / Biosphoto
10	ph © Lester H. Bergman / Corbis	32-1d	ph © Jean Lecomte / Biosphoto
12-1a	ph © Doug Perrine / Jacana / Eyedea	32-2a	ph © A. Feininger / Time & Life Pictures / Getty-Images
12-1b	© J. W. Schopf / Department of Earth and Space Sciences / University of California, Los Angeles	32-2b	ph © G. Brightling / D. Kindersley / Getty-Images
13-2	ph © North Wind Pictures / Leemage	32-2c,d,e	© Hervé Conge
13-3	ph © Jean Vertut	34	ph © Frédéric Hanoteau / Archives Hatier
13-4	ph © M. Garlick / SPL / Biosphoto	36,37	ph © Hervé Conge
16-1	ph © Frédéric Hanoteau	38-1	ph © CTU – UCBL / ISM
16-1a	ph © Régis Cavignaux / Biosphoto	38-2	ph © Atlas de biologie cellulaire de J.-C. Roland et A. Szöllösi, J.-C. Callen © DUNOD Paris, 1999, 4ème édition
16-1b	ph © Hervé Conge	39-3	ph © CMEABG – UCBL1 / ISM
16-1c	ph © Benny Odeur / Wildlife Pictures / Biosphoto	39-4	ph © INRA Photothèque
16-1d	ph © Philippe Giraud / Biosphoto	39-5	ph © Frédéric Hanoteau
16-1e	ph © Hervé Conge	42	ph © Newcomb & Wergin / BPS / Fotogram Stone Images
16-1f	ph © Emmanuel Boitier / Biosphoto	43	ph © J. Laporte
16-1g	ph © Hervé Conge	47-7	ph © CTU – UCBL / ISM
16-1h	ph © Duncan McEwan / NPL / Jacana / Eyedea	47-bg	ph © Institut Pasteur Photothèque
17	ph © J.-F. Hellio & N. Van Ingen / Biosphoto	47-bm	ph © Jean-Claude Révy / ISM
18-1	© Christian Jégou	47-bd	ph © J. Secchi / D. Lecaque / J.-C. Révy / ISM
18-1a	ph © Sabena Jane Blackbird / Alamy / Photo12.com	48-9	© DR
18-1b	ph © Hervé Conge	48-10	© Henry-Gabriel Dupuy – Sandrine Heusser / E.N.S de Lyon
18-1c	ph © Ken Lucas / Getty-Images	48-11	ph © Biosphoto
18-1d	ph © Colin Keates / Dorling Kindersley / Getty-Images	50-1a	ph © Bruno Marielle / Biosphoto
18-1e	ph © Photo12.com / Alamy	50-1b	ph © Eye of Science / Phanie
18-1f	ph © Hervé Conge	51-2	© Ken Eward / Biografix / BSIP
19-4	ph © Mauricio Antons / Science Photo Library / Biosphoto	51-3	ph © Olivier Meckes / Eye Of Science / Cosmos
20	ph © Brandon Cole / Biosphoto	52	ph © Jeulin
22	ph © Nasa / GSFC / Novapix	53	© Nicole Gas / CNRS – Laboratoire de Microscopie électronique / Laboratoire de Biologie cellulaire – Toulouse
23-3	© Christian Jégou	54	ph © Frédéric Hanoteau
23-4hg	ph © M. Kage / Biosphoto	55	ph © David Scharf / SPL / Cosmos
23-4hm	ph © Laguna Design / SPL / Biosphoto	57	Coll. Peter Arnold / BSIP
23-4hd	ph © D. Brandelet / Biosphoto	58	© Rastop
23-4mg	ph © B. Fischer / Biosphoto	60	ph © Frédéric Hanoteau / Archives Hatier
23-4mm	ph © D. Heuclin / Biosphoto	61	ph © DR
23-4md	ph © B. Cavignaux / Biosphoto	63	© Rastop
23-4bg	ph © C. Perelle / Biosphoto	68-1	ph © Nigel Cattlin / Sunset
23-4bm	ph © C. Ruoso / Biosphoto	68-3a,b	ph © Claudius Thiriet / Jacana / Eyedea
23-4bd	ph © D. King / Dorling Kindersley / Getty-Images	70	ph © Philippe Blanchot
23-5	ph © J. Venot / Biosphoto	71-2	ph © David Aubrey / SPL / Biosphoto
25-g	© J. W. Schopf / Department of Earth and Space Sciences / University of California, Los Angeles	71-3a	ph © Hervé Conge
25-m	© Christian Jégou	71-3b	ph © Lizzie Harper / SPL / Biosphoto
25-d	ph © D. Woodfall / Still Pictures / Biosphoto	75-4	ph © Francesca Palli – www.potomitan.info
30	ph © Delmarty / Alpaca / Andia.fr	75-5	ph © DR
31-2	ph © Nicolas Cegalerba / Jacana / Gamma Rapho	76-1b	ph © Alex Wild
31-3	ph © Dr Dennis Kunkel – Phototake / ISM		

76-1c	ph © DR	148	ph © Chassenet / BSIP
77-4	ph © DR	149	ph © Nasa/USGS/Novapix
80-1	ph © Juniors Bildarchiv / Sunset	150	ph © Hervé Conge
80-3	ph © Doug Cheeseman / Peter Arnold / Bisophoto	151-2a	ph © Françoise De Mulder / Roger-Viollet / Getty Images
86-1	ph © Spencer Ch. Barret	151-2b	ph © Laurent Grandguillot / Rea
86-2	ph © Doug Cheeseman / SPL / BSIP	151-3	ph © China Photos / Getty Images
86-3	ph © Denis Bringard / Sunset	152	ph © Alain Beaudou / IRD
87-1	ph © Roger Eritja/Bisophoto	153-2	ph © Jean Riby/Archives Hatier
87-2	ph © John W. Bova / BSIP	153-4b	ph © Y. Coineau / MNHN, Paris
88-1	ph © Aisa/Leemage	154-1	ph © M. Petzold
88-2	ph © The Granger Collection NYC/Rue des Archives	154-2a,b	ph © Hervé Conge
89-1	ph © SETSUMASA HIROCHIKA/OCEAN VERT/Gamma-Rapho	155	ph © Boisvieux Christophe / hemis.fr
89-2	ph © Serge Aubert	157-3b	ph © Olive Strewe / Getty Images
90-1	ph © Biosphoto / Bruno Cavignaux	157-4	ph © Alain Ruellan
90-2	ph © BANVILLET/UNAF/Sipa Presse	157-6a	ph © Travail Ink / Getty Images
90-3g	ph © Biosphoto / Michel Lefèvre	157-6b	ph © Stockbyte / Getty Images
90-3d	ph © Biosphoto / Joël Héras	158-1	ph © INRA
90-4	ph © VISAGE Albert / SUNSET	158-2	ph © Hervé Conge
91	ph © A. BARRINGTON BROWN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/ BIOSPHOTO	159-3	ph © Diego Giudice / Archivolatino / Rea
92-1	ph © INRA – ENSAT	159-4	ph © INRA
92-2	ph © Inga spenceVisuals unlimited/ BSIP	165-1	ph © Bioland
92-3	ph © Gamma-Rapho	165-2	ph © Didier Michot / Agrocampus Rennes
93	ph © M. & C. Denis-Huot	166-h	ph © Gile / Andia.fr
96-h	ph © Franck Raux / RMN	166-b	ph © B. Chauchard/INRA Photothèque
96-b	ph © Gérard Blot / RMN (Musée d'Orsay)	167-h	ph © Ton Koene / Age fotostock
97-g	ph © Giraudon / Bridgeman Giraudon	167-b	ph © C. Maître/INRA Photothèque
97-d	ph © Hervé Lewandowski / RMN (Musée d'Orsay)	168-1	ph © Tim Rue/Bloomberg/Getty Images
98	ph © Romeo Ranoco / Reuters	168-2,3	ph © Jiri REZAC/REA
99	ph © Marta NASCIMENTO/REA	169-1	ph © Olivier POLET/REPORTERS-REA
100	ph © Louis Bertrand / Sunset	169-2	ph © C. Lehenaff/Photononstop
101-2	ph © Martin Bond / SPL / Cosmos	169-3	ph © AP/SIPA
101-3	ph © Jason Hawkes / Getty Images	170-h	ph © Biosphoto / Claudius Thiriet
102,103	ph © Frédéric Hanoteau	170-m	ph © Didier Maillac/REA
107	ph © Laurent Zylberman	170-b	ph © Biosphoto / NASA / UNEP / Still Pictures
108	ph © Masterfile	171	ph © Hydrohelix/LookatSciences
109	ph © Frédéric Hanoteau	174-h	ph © The Art Archive / Galerie d'Art Moderne Blois / Alfredo Dagli Orti
110-1	ph © Pierre Philippon	174-b	ph © Bridgeman Giraudon
110-2	ph © Frans Lanting / Corbis	175-g	ph © Imagno / La Collection
111	ph © La Collection / InterfotoBurian, Zdenek	175-d	ph © Artothek / La Collection / ADAGR, Paris 2010
115	ph © Claude Carre / Bisophoto	176	ph © Clive Rose/AFP
116	ph © Getty Images	178	ph © Reinhard Krause / Reuters
117	ph © Hervé Conge	179-2a	ph © René-Gabriel Ojéda / RMN
118	ph © Bill Ross / Corbis	179-2b	ph © Pierre Jean / Presse Sports
119-2	ph © Peter Essick / Aurora / Cosmos	179-3	ph © Eric Chauvet / Cit'Images
119-3	ph © Georg Gerster / Rapho / Gamma-Rapho	180	ph © Frédéric Hanoteau
121-2b	ph © CNRS	182	ph © Patrice Latron / LookatSciences
121-3	ph © Olav Garborg / Imagestate / GHFP / Gamma-Rapho	183	ph © J. B. Autissier / Panoramic
121-4a	ph © Esa / Novapix	185	ph © Harbonnier
121-4b	ph © WinMcNamee / Getty Images North America / Afp	186	ph © PCN / UMA
123	ph © Patrick de Wilde / Hoa-Qui / Gamma-Rapho	194	ph © Bruno Bade / Regards du sport
125	ph © Imago / Rue des Archives	195-2	© INGRAM / Bsp
126-2	ph © George Diebold / Corbis	195-3	ph © Angel Garcia / Photopqr / L'Union de Reims / Max PPP
126-3	ph © DOD/USCG/HANNING/REA	196	ph © Frédéric Hanoteau/Archives Hatier
127	ph © Corbis	198	ph © Frédéric Hanoteau
131	ph © David Nunuk / SPL / Cosmos	200,201	ph © Frédéric Hanoteau
134	ph © Bruno Compagnon / Sagaphoto.com	203	ph © Martin / Presse Sports
135-2	ph © Frans Lanting / Corbis	204	ph © Zephyr / SPL / Cosmos
135-3	ph © Philippe Montigny / Filimages / UMA	205-7a	ph © Theobald / BSIP
135-4	ph © Chamussy / Sipa	205-7b	ph © J.-B. Autissier / Panoramica
136	ph © D. R.	214	ph © Kenneth Eward/Photo Researchers/BSIP
137-7a	ph © Patrick Forget / Sagaphoto.com	215-2	ph © Laurent Paillier/CDDS Enguerand
137-7b	ph © Novabiom	215-3	© Création Capital Image / Marianne Guillerand, 2008 / Comité Français de Lutte contre l'Hypertension Artérielle
137-7c	ph © L. Berteau / Urba Images Server	216	ph © Frédéric Hanoteau
138-1b	ph © Yves Soulabaille / LookatSciences	218	ph © Gérard Blot/RMN
138-2b	ph © Stéphane Gautier / Sagaphoto.com	220	ph © CNRI/SPL/Biosphoto
139	ph © Mattes / Andia.fr	233	ph © Ian Hanning/REA
140	ph © David Nunuk / SPL / Phanie	234-1	ph © SPL / Akg-Images
142-1	ph © Elyas Barbier / Biosphoto	234-2	ph © The Metropolitan Museum of Art, Dist. RMN / image of the MMA
142-2	ph © Steve Percivals / SPL / Phanie	235-3	ph © Richiardi / Presse Sports
143-3	ph © Nasa/Novapix		
147	ph © Thiriet / Andia.fr		

235-4	ph © Roger Krieger / Presse Sports	253-h	ph © Niko/Sipa Presse
236	ph © Hervé Conge	253-b	ph © PATRICK KOVARIK/AFP
237-4	ph © Hervé Conge	254-1	ph © Patrick Allard/REA
237-5a	ph © Y. Soulabaille / Urba Images Server	254-2	ph © Jobard/Sipa Press
238-1	ph © Hervé Conge	255-3	ph © Jerry Lampen / Reuters
238-3	ph © Eric Grave / BSIP	255-4	ph © Papon/Presse Sports
239-4a	ph © Hervé Conge	256	ph © FRANCK FIFE/AFP
239-4b	ph © SGO / BSIP	258	ph © www.pascal-photo.fr
239-5a,b	© Frédéric Hanoteau	263	ph © Jeulin
240-2	ph © Docteur JJ Lallement, Clinique Montier la Celle 10120 St André-les-Vergers (www.hanche-genou.fr)	268,269	ph © Frédéric Hanoteau/Archives Hatier
240-3	ph © Imagerie médicale Léonard de Vinci, Paris		
241	ph © Imagerie médicale Léonard de Vinci, Paris		
243	ph © Imagebroker / Leemage		
245-3	ph © Voisin / Phanie		
245-4	ph © Claus Bergmann / UMA		
248	ph © Frédéric Hanoteau		
250	ph © James Cavallini / BSIP		
252	ph © PEDRO UGARTE/AFP		

DR : Malgré nos efforts, il nous a été impossible de joindre certains photographes ou leurs ayants-droit, ainsi que des éditeurs ou leurs ayants-droit de certains documents, pour solliciter l'autorisation de reproduction, mais nous avons naturellement réservé en notre comptabilité des droits usuels.

Création maquette : **Marc & Yvette**
Réalisation mise en pages : **Isabelle Vacher**,
aidée de **Marc & Yvette, Nadine Aymard** et **Maria-Josefina Cuadra**
Infographie : **Corédoc/ L. Blondel**
Iconographie : **Pierre Philippon – Pierangélique Schouler** et **Hatier Illustration**
Photogravure : **RVB**

Achévé d'imprimer en Italie par  **Grafica Veneta S.p.A.**

Dépôt légal n° 94661-5/01 - Août 2010

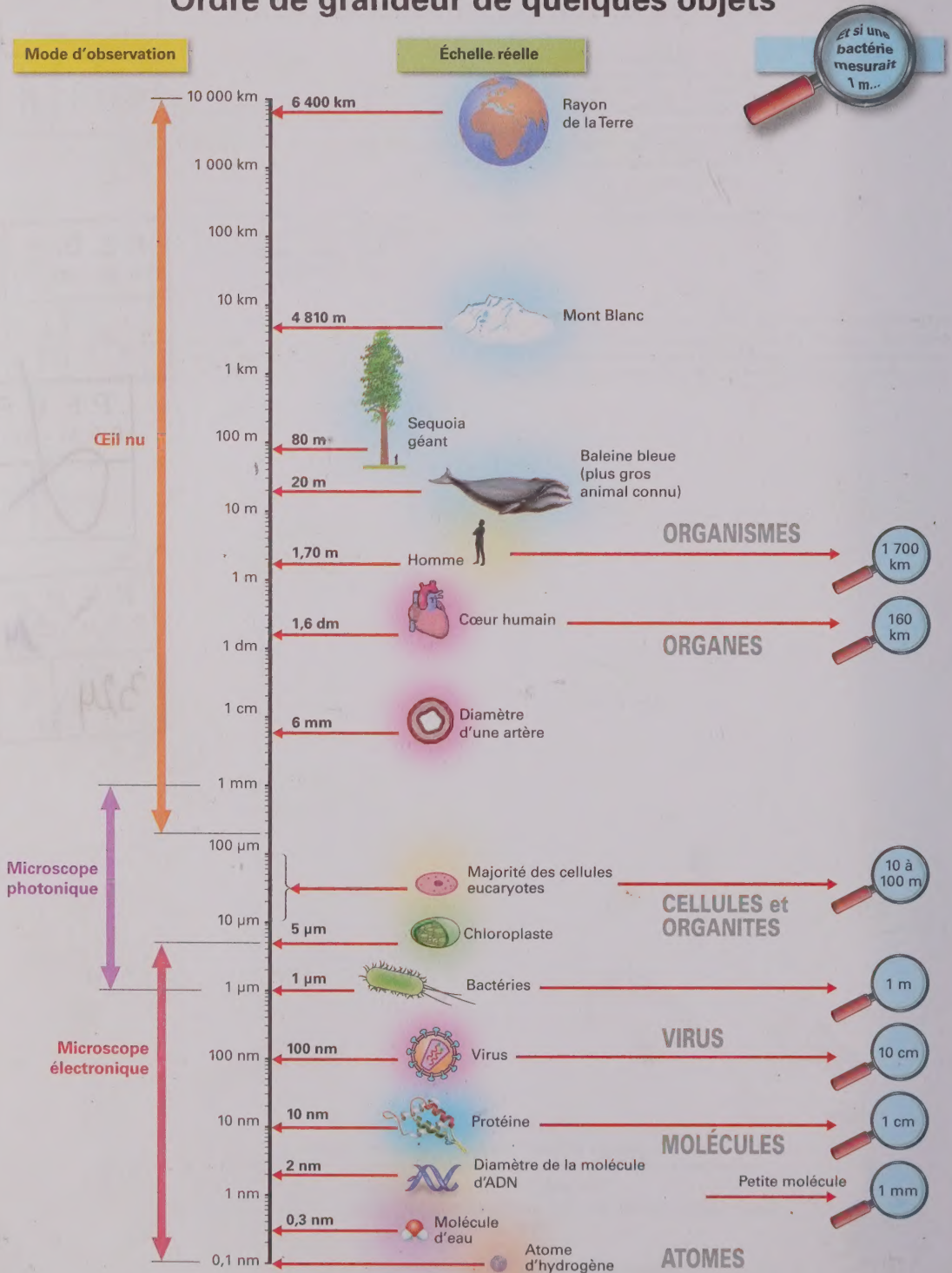
P.E.E.P.	
P.A.M. - 2011	
3189	A

P.E.E.P.	
P.A.M. - 2012	
3836	A

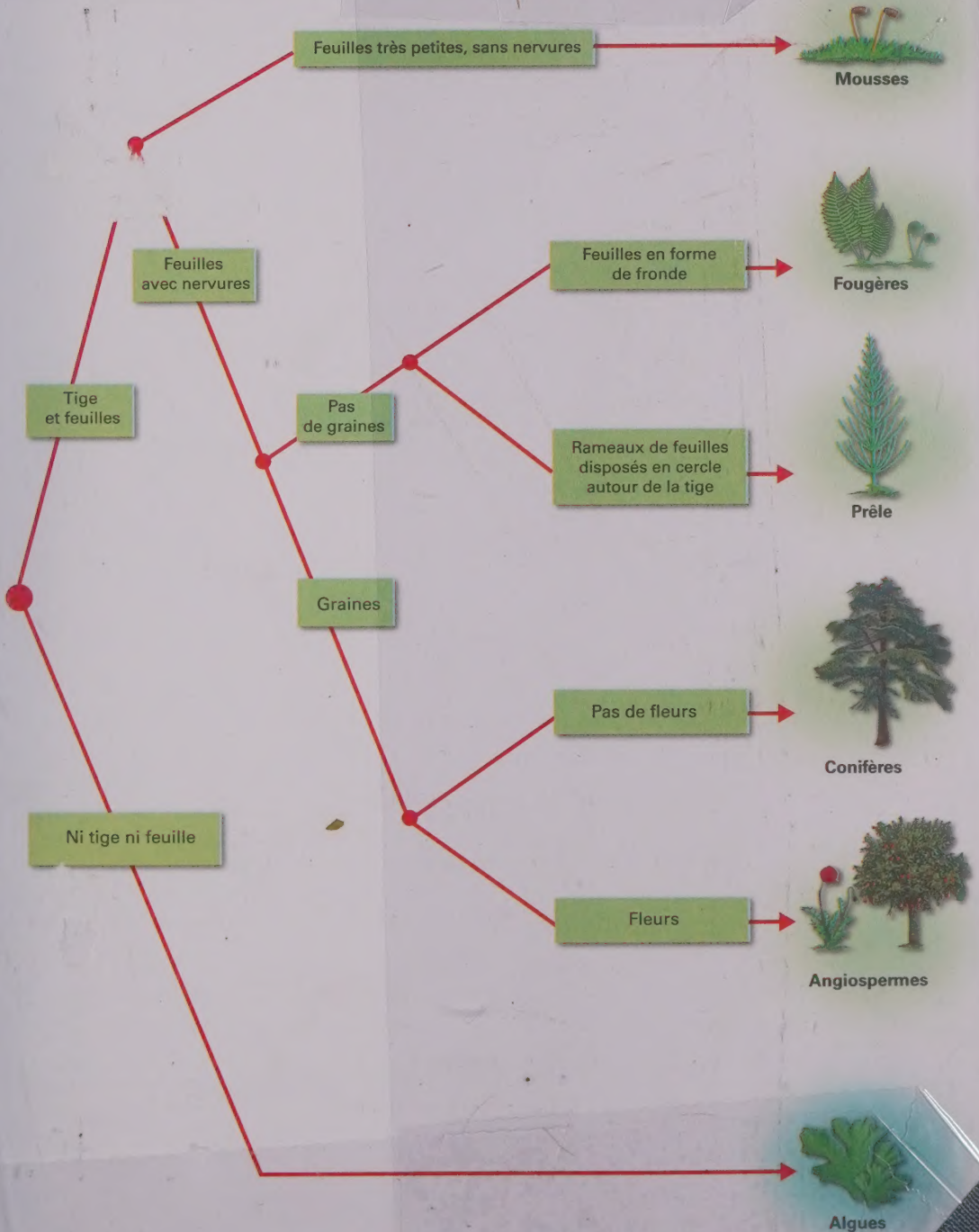
P.E.E.P.	
P.A.M. - 2013	
4427	A

P.E.E.P.	
P.A.M. - 2014	
324	A

Ordre de grandeur de quelques objets



Clé de détermination des végétaux



SVT
2^{de}

www.svt-hatier.com



UN SITE COMPAGNON POUR LA RÉVISION

- Des exercices et schémas interactifs pour vérifier ses connaissances
- Des résumés sonores à podcaster pour mémoriser le cours
- Des documents et des liens pour explorer ou approfondir certains thèmes



**Danger
le photocopillage
tue le livre**

Le photocopillage, c'est l'usage abusif et collectif de la photocopie sans l'autorisation des auteurs et des éditeurs. Largement répandu dans les établissements d'enseignement, le photocopillage menace l'avenir du livre, car il met en danger son équilibre économique. Il prive les auteurs d'une juste rémunération. En dehors de l'usage privé du copiste, toute reproduction totale ou partielle de cet ouvrage est interdite.

www.editions-hatier.fr

44 3372 8

ISBN 978-2-218-94661-5



9 782218 946615